

1933

22 ИЮН 1933

„Коммунизм — есть советская власть  
плюс электрификация всей страны“  
ЛЕНИН

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 9



МОСКВА  
ЛЕНИНГРАД

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека  
[www.booksite.ru](http://www.booksite.ru)

# Измерительные приборы

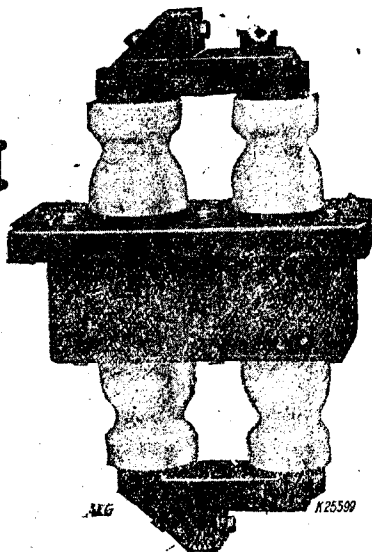
высшей точности для всех целей



Регистрирующие приборы

## AEG

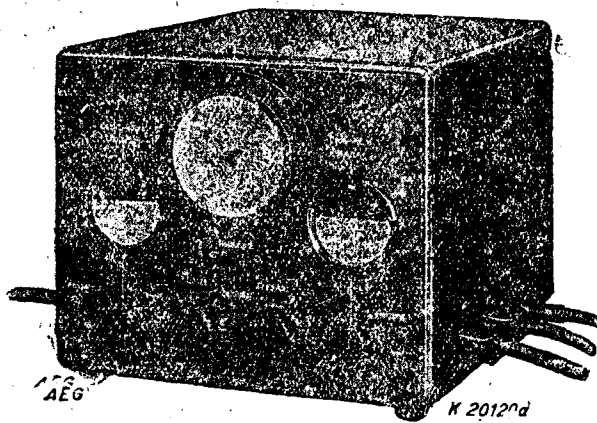
Электрич. измерения  
контроль  
температуры  
контроль  
эксплоатации  
и т. д.



Трансформат. тока  
для больших токов кор. зам.



Переносн. точн. приборы



Электронный осциллограф

Печатный материал по первому требованию

## Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft

Abt. Rußland

Berlin NW 40

Alexander-Ufer 3-4

6604

Выписка заграничных товаров может последовать на основании действующих в СССР правил о монополии на торговлю. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога образцов и проспектов просим ссылаться на наш журнал.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

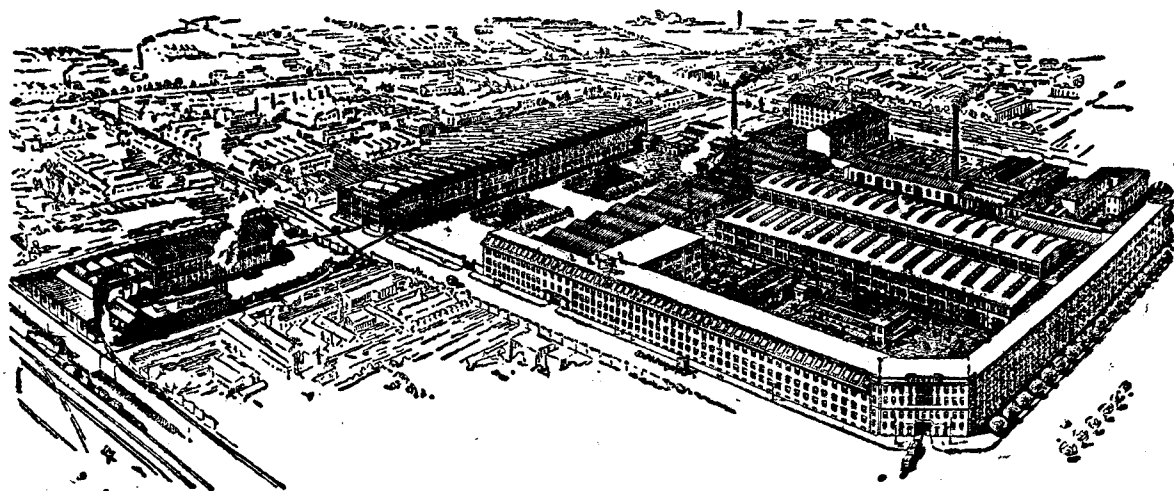
# ЭЛЕКТРОВОЗЫ

Генераторы

Моторы

Трансформаторы

Электрооборудование



ЗАВОДЫ В МИЛАНЕ

## COMPAGNIA GENERALE DI ELETTRICITA

VIA BORGOGNONE, 34 - MILANO  
(ИТАЛИЯ)

# ARMCO

## Специальные сорта железа и стали

### 1. Чистое железо АРМКО

Известно в Америке и Англии под именем "ARMCO INGOT IRON", во Франции "Fer pur ARMCO", в Германии "ARMCO EISEN". Оно является наиболее чистым железом, вырабатываемым индустриальным путем. Гарантировано, что количество углерода, марганца, кремния, серы, фосфора — в нем не превышает 0,1%. Благодаря своей исключительной чистоте и однородности это железо противостоит ржавчине лучше чем обыкновенная сталь. Оно прекрасно поддается эмалировке. Мы рекомендуем железо АРМКО для водяных и газовых труб, газометров, баков для воды, нефтяных баков, вагонов-цистерн и т. д. Мы поставляем также оцинкованное листовое железо, специальное листовое железо для эмалировки и белую жечь.

### 2. Железо АРМКО для электро- магнитных ап- паратов

Благодаря высокой электрической проводимости и особенно хорошей магнитной проницаемости, специальные разновидности чистого железа предлагаются для телефонных аппаратов и для радио-промышленности. Наиболее крупные телефонные Общества и радио-компании в Европе и в Америке употребляют чистое железо АРМКО для телефонных аппаратов и громкоговорителей.

### 3. АРМКО автомо- бильная сталь

АРМКО предлагает: листовую сталь высшего качества для автомобильных кузовов, особые листы для глубокой штамповки, специальные листы для газолиновых резервуаров. Автомобили лучших марок, пользующиеся всемирной известностью, изготавливаются из листовой стали АРМКО.

### 4. Трансформа- торная сталь АРМКО

Производство АРМКО включает 5 специальных разновидностей стальных листов для электрических трансформаторов с минимальной потерей ватт, вплоть до 1,07 ватт на 1 кило. Мы изготавливаем также особую сталь для радио-трансформаторов.

### 5. Огнеупорная сталь : "СИКРОМАЛЬ"

Вырабатываемая нами сталь «СИКРОМАЛЬ» отличается сопротивляемостью до 600, 800, 900, 1000 и 1200° Ц. Она поставляется в виде листов, полосового железа и железа в брусках, труб и готовых аппаратов. Мы особенно рекомендуем цельно-тянутые трубы для пароперегревателей, для нефтяных крекингов, для экономайзеров и т. д. Мы поставляем также специальные подшипниковые стали и инструментальные стали. Мы просим обращаться к нам за справками для разрешения Ваших заданий. Продукты АРМКО вырабатываются в Англии, Германии, Франции, Бельгии и Соединенных Штатах.



## THE ARMCO INTERNATIONAL CORPORATION

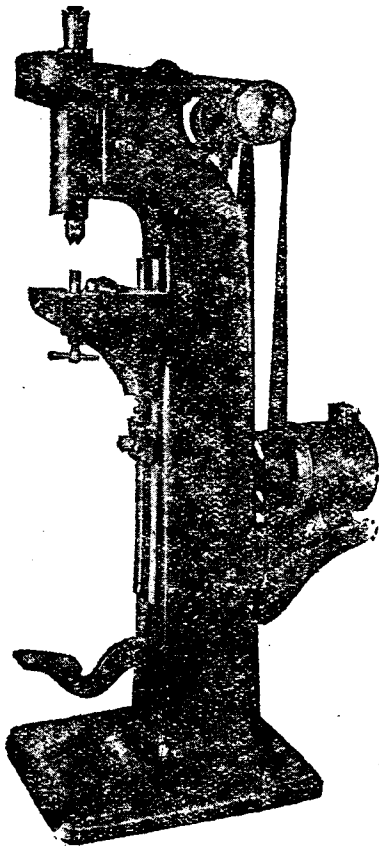
ЦЕНТРАЛЬНОЕ ЕВРОПЕЙСКОЕ БЮРО :  
6, Avenue Gourgaud, 6, PARIS (XVII<sup>e</sup>)

В АНГЛИИ : Thames House, Millbank. LONDON S. W. I.  
В ГЕРМАНИИ : Hochhaus, Hansa Ring, KÖLN a/Rh.



**ТЕЛЕФОННОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО Л. М. ЭРИКСОН**  
**СТОКГОЛЬМ - ШВЕЦИЯ**

91



Быстрходный заклепочный станок, модель 80, на стойке с моторным приводом

## Бесшумные быстро-заклепочные станки

Эти заклепочные станки с успехом находят применение между прочим в электротехнической промышленности при изготовлении приборов электрического оборудования, инсталляций и радио-принадлежностей. Заклепки диаметром от 0,5 до 8 мм из всех обычно употребляемых родов материала могут быть бесшумно всажены весьма производительным образом. Головкам заклепок придается форма при помощи состоящих из двух частей, быстро вращающихся роликов из специального качества стали, причем получаются совершенно равномерные, гладко-полированные поверхности. Рабочий ход роликовых инструментов можно точно устанавливать, так что головкам заклепок придаются равномерные, правильные формы. Также можно посредством этого станка изготовлять и такие заклепочные соединения, у которых склепанные детали должны иметь возможность свободного движения, или же при применении ломких материалов (фарфор и т. п.). Станки поставляем мы либо для установки на верстаке либо на станине, причем привод может осуществляться ременной передачей или мотором. Для заклепочных соединений диаметром от 0,5 до 14 мм, мы поставляем также и быстродействующие

быстроходные заклепочные станки молотобойного типа.

Применение этих станков является целесообразным в частности при таких работах, где при помощи более широких роликовых инструментов бесшумного роликового заклепочного станка нельзя — или же можно лишь с трудом — добраться до неудобно расположенных точек заклепки. Эти станки пригодны также и там, где рабочая поверхность роликовых типов оказывается недостаточно большой.

Закажите пожалуйста наш проспект А 635.

**HANN & KOLB · STUTTGART**  
**ГАН и КОЛЬБ · Штутгарт**

## Петлевые осциллографы

с числом петель от 1 до 6, стационарные и передвижные, для производства измерений в лаборатории и в цеху со скоростью регистрации от 0,1 до 50 мм/сек.

Проспект № 310.

## Катодные осциллографы

с числом независимых катодных лучей от 1 до 6 при рабочем напряжении в 50 kV, легко передвижной конструкции.

Проспект № 321.

## Индикаторы электр. давления

для давлений до 10, 50, 100, 500, 2500, 5000 кг/см<sup>2</sup>

Собственная частота: 50 000 герц

Допуск точности измерений: 0,5—3%

Проспект № 750.

**Dr. Ing. Hans RUMPF**  
**BONN/Rhein (Германия)**

6682

## Просьба к читателям

желающим выписать каталоги или прочий информационный материал иностранных фирм, заполнить помещенный внизу текст, вырезать его, вложить в конверт, снабженный 15-копеечной маркой, и отправить фирме по адресу, указанному в объявлении или статье журнала.

Фирме: .....

В: .....

Ссылаясь на ваше объявление в технических журналах Союза ССР, прошу (сим) выслать мне (нам) по ниже-следующему адресу каталог или информационный материал об изделиях вашего производства и особенно в отношении

Фамилия  
или устан.: .....

(разборчиво)

Специаль-  
ность: .....

Адрес: .....

Выписка заграничных товаров может последовать на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталогов, образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического научного инженерно-технического общества (ВЭНИТО).

Адрес редакции: МОСКВА, Ильинка, Ипатьевский п., 2, 1-й эт. Тел. 72-46 и 1-57-19.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

### Новое о механизме света и фотоэлектричества

Инж. Б. Л. Розинг

Физическая лаборатория Лесотехнического института, Архангельск.

#### 1. Краткий исторический очерк развития фотоэлементов

Хотя явления фотоэлектричества были открыты Гальваном и Столетовым одновременно, но собственно „фотоэлемента“, т. е. приспособления для получения постоянного электрического тока при посредстве света, нужно считать профессора Московского университета А. Г. Столетова. В 1888 г. „фотоэлемент Столетова“ состоял из алюминиевой решетки (анода), соединенной с положительным полюсом гальванической батареи, из пластинки цинка (катода), параллельной ей, освещаемой ультрафиолетовыми лучами и соединенной с отрицательным полюсом той же батареи, и из слоя атмосферного воздуха между решеткой и пластинкой. При зажигании света ток шел в этой цепи от алюминия к цинку через слой воздуха.

Столетов дал работе этого фотоэлемента следующее объяснение, которое в общих чертах осталось и до сих пор правильным. Именно под действием световых лучей из пластинки цинка выбрасываются отрицательные электроны, которые направляются под действием электрического поля, существующего между катодом и анодом (фотоэлементом), к аноду, а оттуда через батарею к катоду. Количество протекающего в этой цепи электричества пропорционально количеству световой энергии, поглощаемой пластинкой цинка при рабочих равных условиях.

Так и возник „фотоэлемент Столетова“. Но он оказался очень слабым. Дальнейшая история фотоэлементов сводилась, главным образом, к их усилению. Она может быть представлена в следующем виде.

Прежде всего, в 1906 г. германской фирмой „Полифос“ в Мюнхене были запатентованы и выпущены в продажу фотоэлементы в виде стеклянных шарообразных баллонов, внутри которых и были заключены основные части фотоэлементов (электроды и газовая среда). При этом в качестве светочувствительного электрода (катода) была применена амальгама одного из щелочных металлов, преимущественно рубидия, а в качестве газовой среды был использован водород или гелий под значительно уменьшенным давлением. Светочувствительным слоем была покрыта большая часть внутренней поверхности баллона. Анодом же служила небольшая изогнутая в дугу платиновая проволочка, впа-

янная в стекло баллона и снабженная выходящими наружу ушками с целью пропускания по проволочке электрического тока для прокаливания и освобождения ее от растворенных в ней посторонних газов. При этом, как показали современные многочисленные опыты из практики высокого вакуума, приходилось освобождаться, главным, образом от водорода, окиси углерода и углекислоты. Что же касается давления, которое применялось в фотоэлементах „Полифос“, то о них нельзя сообщить точных данных. Но при моих опытах с этими фотоэлементами (так как они появились тогда и в России) некоторые из них „перегорели“. Это указывает на принадлежность их к типу газонаполненных (газополных) с давлением, выражающимся в десятых долях миллиметра ртутного столба, в отличие от другого типа фотоэлементов пустотных (с вакуумом, доходящим до  $10^{-6}$  мм рт. ст.)

Затем очень много сделали, начиная с 1910 г., для усовершенствования щелочных фотоэлементов германские физики Эльстер и Гейтель в Брауншвейге; где ими и была основана специальная лаборатория. Указанные результаты были достигнуты прежде всего заменой амальгам чистыми щелочными металлами (K, Na, Rb и Cs) или их сплавами. Они осаждались внутри баллонов из паров этих металлов на предварительно осажденном слое серебра. Для получения же таких паров металлы помещались в запаянных с одной стороны патрубках, припаянных к баллонам при изготовлении фотоэлементов, и там нагревались. В других же патрубках помещались палладиевые пластинки, насыщенные водородом, для впуска внутрь баллонов газообразного водорода при их нагревании после предварительного выкачивания из баллонов воздуха.

Однако особенное увеличение чувствительности щелочных фотоэлементов (5—10 раз) было получено Эльстером и Гейтелем при помощи обработки фотоэлементов пропусканием сквозь них разрядов от спирали Румкорфа в присутствии водорода<sup>1)</sup>. При этом обнаружилось, что поверхности щелочных металлов теряют свой металлический блеск и окрашиваются в цвета: голубой в случае калия и рубидия, синий в случае натрия и зеленоватый в случае цезия. Наконец, в СССР по тому же способу было очень удачно установлено производ-



рудником палаты Бойко и в Физико-техническом институте в Ленинграде—под руководством проф. Чернышева.

Наконец, следует указать на фотоэлементы, выпущенные за последние 2—3 года американскими электротехническими фирмами и получившие поэтому название „американских“. Они отличаются сравнительно с фотоэлементами типа Эльстера и Гейтеля значительно большим даваемым ими током, а главное большую чувствительностью по отношению к красной части спектра (распространяющегося до длины волны в  $0,8 \mu$ ). Однако эти успехи были достигнуты только благодаря предварительным изысканиям в области теории, произведенным Лангмюром, Айвсом, Олыгеном, Кампенем, Кампбеллом, Ланге и др.

Для того чтобы оценить, какой колоссальный шаг был сделан в усовершенствовании фотоэлементов со времени Столетова до наших дней, достаточно сказать, что в то время, как фотоэлемент Столетова действовал только на близком расстоянии, современные фотоэлементы реагируют на свет звезд 8-й величины (Нейбабелская астрономическая лаборатория, опыты Гутника)<sup>2)</sup>. В числах же можно выразиться так: фотоэлемент Столетова давал ток приблизительно в  $10^{-13}$  А на 1 м, в то время как современные фотоэлементы дают несколько омикроампер на 1 Лм. Наконец, в СССР были получены, независимо от американских достижений, но на тех же теоретических основаниях, еще более резкие результаты. Так, завод „Светлана“ в Ленинграде выпускает в настоящее время для надобностей говорящего кино фотоэлементы типа F-5 с чувствительностью,ходящей до  $20\text{—}40 \mu\text{A}$  на 1 Лм<sup>3)</sup>.

#### Предполагаемая схема распределения светочувствительных слоев в современных фотоэлементах

В моей статье „Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов и фотосопротивлений“<sup>4)</sup> были достаточно разобраны те теоретические соображения, которые были положены в основу усовершенствований, внесенных в современные фотоэлементы. Как видно из вышеприведенных данных, они действительно привели к значительным результатам. Поэтому, не вдаваясь в этот разбор в настоящей статье, можно отметить только то, что они сводятся в сумме к той же схеме, которая была установлена еще в свое время Эльстером и Гейтелем в их вышеупомянутом классическом способе обработки щелочных светочувствительных слоев при помощи водорода. Схема же эта, по мнению указанных лиц, заключается в следующем: щелочной металл соединяется сначала с водородом в солеподобный гидрид (например КН в случае цинка), после чего в поверхностном слое этого бесцветного продукта образуется почти чистый, сильно окрашенный твердый раствор щелочного коллоидального металла. Этот последний раствор и является вследствие своей сильной светопоглощающей способности главным источником выделения большого количества фотоэлектронов<sup>5)</sup>. Действительно, нетрудно видеть в этой схеме, только с заменой водорода кислородом, серой, иными парами и пр., как раз те же самые способы

увеличения чувствительности фотоэлементов и понижения их „красной границы“, которые были предложены вышеуказанными исследователями современных фотоэлементов.

Замечу в заключение, что образование гидридов щелочных металлов было предметом работ также и других исследователей. При этом выяснилось, что водород в гидридах присутствует в виде отрицательного иона

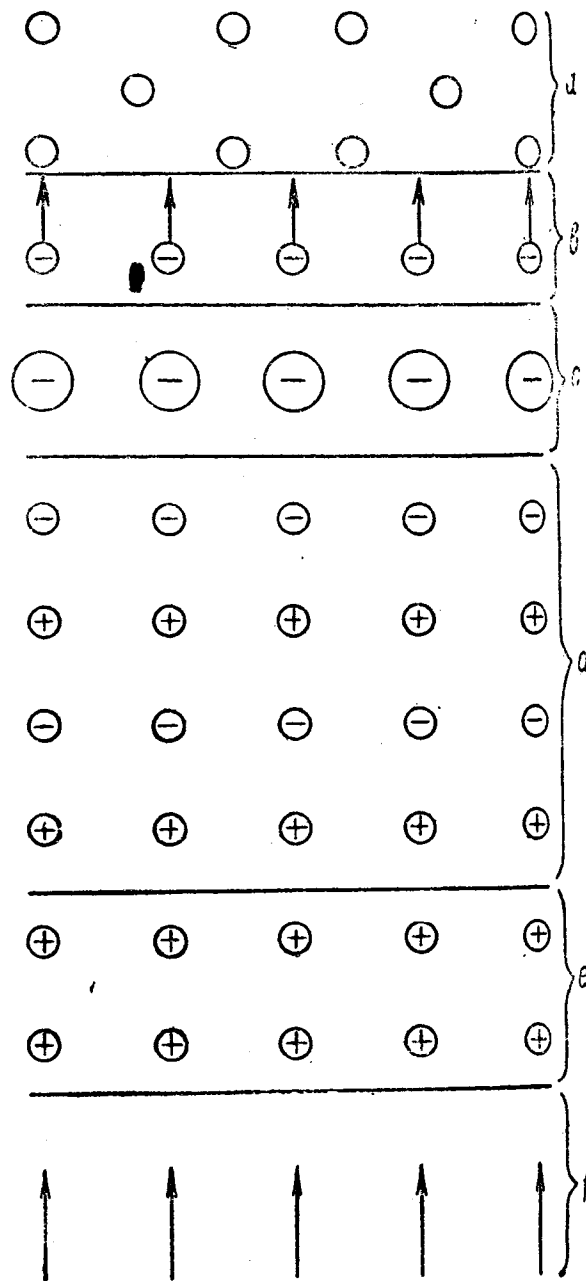


Рис. 1

Таким образом рисуется следующая, изображенная на рис. 1, картина распределения слоев в светочувствительных катодах современных фотоэлементов, откуда можно выяснить и самый механизм вылетания из них электронов под действием световых квантов. Заметим, что на рис. 1 слои изображены в положении, наиболее благоприятном для этого вылетания по отношению к падающим на них световым квантам.

#### 3. Новейшие взгляды на световые кванты

Каков же должен быть истинный механизм вылетания электронов под действием световых квантов? Но предварительно выясним, как мы должны вообще смотреть по новейшим данным на самые световые кванты? Прежде всего заметим, что старые взгляды на свет и на

„Успехи физических наук“, т. XI, вып. 5, стр. 761.

Однако нельзя быть уверенным в прочности светочувствительных слоев этих новых американских фотоэлементов. Вероятно, долговечность этой прочности есть еще дело продолжительной работы дущем. По крайней мере, на основании исследований, произведенных в физической лаборатории Архангельского лесотехнического института над одним из фотоэлементов типа F-5 завода „Светлана“, оказалось, что за 5 мес. чувствительность его упала с  $3 \mu\text{A}$  на 1 Лм.

„Электричество“, № 2, 1932.

Physikalische Zeitschrift\* 1910, XI, S. 261.



тась между ним и электронами были в сущности очень  
просты, но, к сожалению, они не оправдались на прак-  
тике. Действительно, прежде смотрели на свет таким  
образом: источником света являются будто бы непре-  
рывные колебания электронов около атомных ядер или  
вращение первых вокруг вторых; под влиянием этих  
колебаний или вращений и возникают вокруг электронов  
концентрические электромагнитные волны, тоже непре-  
рывно разбегающиеся со скоростью света вокруг этих элек-  
тронов как вокруг своих центров в бесконечность. Эти вол-  
ны свою очередь представляют собою подобные же ко-  
лебания. Наконец, под влиянием их испытывают неко-  
торые механические силы, находящиеся в окружающем  
пространстве электроны (например, электроны указан-  
ного светочувствительного слоя фотоэлемента).

Механизм этого ряда передач—от источника света к среде, от среды к фотоэлементам—яснее всего изображается при помощи так называемого „вектора Пойнтинга“. При помощи того же вектора легко устанавливается также и разница между той или другой теорией света.

Например, согласно старым взглядам энергия всякого движущегося электрона излучается тоже непрерывно, причем она излучается всегда от электрона в окружающее пространство по радиусам, какие бы изменения в энергии движения электрона не происходили. Лучшее всего это видно из следующей формулы Герца:

$$W_{r-a} = \frac{2}{3} \frac{\dot{v}^2}{c^2}. \quad (1)$$

Здесь  $W_{r-a}$  — есть энергия, излучаемая в единицу времени сквозь сферу, описанную вокруг электрона каким-либо радиусом  $r-a$ ;  $\dot{v}$  есть ускорение этого электрона наконец,  $c$  — скорость света<sup>6)</sup>.

С другой стороны, механические силы, возникающие вследствие действия электромагнитного поля на электроны (в том числе и на электроны, находящиеся в светочувствительном слое фотозлемента), связаны с вектором Пойнтинга  $\vec{S}$  (т. е. энергией  $W$ , излучаемой через единицу площади сферы) следующим соотношением:

$$\vec{F} = -\frac{1}{c^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} \quad (2)$$

Здесь вектор  $\bar{F}$  есть вектор упомянутой механической силы, отнесенной к единице объема,  $\rho$  — электрическая

плотность электронов там же и  $\frac{\partial \bar{S}}{\partial t}$  — производная вектора  $\bar{S}$  по времени  $t$ .

Но так как, согласно вышесказанному, вектор  $\vec{S}$  направлен вдоль световых лучей, исходящих из электронов, вдоль тех же лучей должна быть направлена произ-

длина  $\frac{d\bar{S}}{dt}$ , а следовательно, и сила  $\bar{F}$ . По числовой величине эта сила при колебательном или вращательном движении электрона пропорциональна (формула (1)) квадрату ускорения  $\ddot{v}^2$ , а следовательно, и квадрату вектора электрического поля  $\bar{F}^2$ ). Но так как этот последний непрерывно и равномерно пульсирует при данных условиях (с тем же периодом, что и колебания электронов в источнике света), то так же пульсируют в одну и ту же сторону и механические силы  $F$ . Подобные пульсирующие силы той же величины, но противоположного направления, должны испытывать и положительные ионы, или ядра. Таким образом в фотоэлементах возникают две системы сил, равные и противоположные, направленные перпендикулярно к светопроводительным слоям и стремящиеся разорвать их или вырвать из них электроны.

Но, к сожалению, эта картина движения электронов в источнике света и действия источника света на фотоэлементы преимущественно в части, касающейся непрерывности и равномерности движения и сил, не соответствует действительности и должна быть заменена новой теорией, предложенной Бором в виде ряда постулатов.

Бор, как известно, ввел в оптику, вслед за Планком, понятие о световых квантах. Согласно этому новому понятию свет испускается источником света не непрерывно, а только в те промежутки времени, когда электроны, вращающиеся в атомах тел перелетают с одних орбит, большого радиуса, на другие орбиты, меньшего радиуса, под действием сил, существующих между ними и ядрами. При этом энергия, которая теряется электронами при этих перелетах, и есть по учению Бора та самая энергия, которая излучается ими в виде световых квантов. Переносясь же затем в фотоэлемент, кванты воспринимаются светочувствительным слоем этого последнего и сопровождаются в нем в свою очередь соответственными вылетами электронов.

Эта картина была, как сказано, создана Бором как гипотеза и принята наукой с большим недоверием, но горизонтальное совпадение ее с опытом заставило науку примириться с нею. Впоследствии де-Брольи, Дираку и др. удалось подвести под это учение теоретический фундамент в виде так называемой волновой теории материи. При этом пришлось совершенно отказаться от классической электродинамики. Однако теперь выяснилось, что не было необходимости так далеко уклоняться от классической науки<sup>8)</sup>. Действительно, достаточно было только обобщить электромагнитную теорию света, созданную Максвеллом, Герцем, Лоренцем и др., и следствием этого явилась возможность получить требуемые постулаты Бора из классической науки, основываясь только на этих обобщениях. Вместе с тем существенно изменились самые наши взгляды на свет и фотоэлектричество.

Что же касается указанных обобщений, то они выразились в том, что произвольные постоянные в интегралах известных уравнений Максвелла-Лоренца пришлось несколько изменить, а именно изменить в соответствии с законом сохранения энергии, который, как теперь выяснилось из теории и опыта, был нарушен старой теорией.

Как же пришлось изменить эти интегралы и старую теорию?

Нужно заметить, что, как показал еще Лоренц в 1904 г., а затем Ритц в 1908 г., принятые старой теорией электромагнитные волны, разбегающиеся вокруг колеблющихся электронов со скоростью света в пустоте и представляющие собой расширяющиеся концентрические потенциальные поверхности, с переменной  $t - \frac{r}{c}$  или, иными словами, поверхности некоторой функции  $\varphi_1(t - \frac{r}{c})$ , не представляют собою полного решения указанных уравнений: они являются только частным решением этих уравнений. Кроме того, они представляют собою движение энергии от электронов в бесконечность в форме непрерывно разбегающихся волн, всегда в одну сторону, происходящее без всякой компенсации, и поэтому оказались в явном противоречии с законом сохранения энергии.

Мало того. Те же ученые показали, что возможно еще второе частное решение, совершенно аналогичное первому, т. е. с тем же периодом и скоростью распространения, но с переменной  $t + \frac{r}{c}$  вместо  $t - \frac{r}{c}$ , т. е.

«Вестник электротехники», № 11—12, 1931, стр. 416.  
«Вестник электротехники» № 11—12, 1931, стр. 411—412

8) См. например, об этом В. Л. Розинг, Обобщенная теория электромагнитного поля и излучение диполя, «Вестник электротехники», № 11—12, 1931, 410—417.

$\varphi_2(t + \frac{r}{c})$ . Нужно заметить, что изменение знака в выражении переменного перед  $\frac{r}{c}$  означает, что те электромагнитные волны, которые это решение собою представляет, не разбегаются от электронов в бесконечность, а сбегаются из бесконечности к электронам. Но это решение есть такое же нарушение закона сохранения энергии, как и первое, так как представляет собою движение энергии из бесконечности к электронам, тоже без компенсации.

Таким образом приходится прийти к заключению, что истинным решением уравнением Лоренца нужно считать не  $\varphi_1$  и не  $\varphi_2$ , а некоторое более общее  $\varphi_3 = a_1\varphi_1 + a_2\varphi_2$ , где  $a_1$  и  $a_2$  — некоторые произвольные постоянные величины.

Каковы же эти постоянные величины  $a_1$  и  $a_2$ ? На этот вопрос приходится ответить только единственным образом. С одной стороны, для того чтобы не нарушать закона сохранения энергии, эти коэффициенты должны быть равны между собой. В самом деле, только при этом условии разбегающаяся часть электромагнитного поля  $a_1\varphi_1$  равна сбегающейся части  $a_2\varphi_2$ , что при равенстве самых функций  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  дает  $a_1$  и  $a_2$ . Но с другой стороны, Ритц показал, что сумма коэффициентов  $a_1$  и  $a_2$  должна быть равна единице, т. е.  $a_1 + a_2 = 1$ . Из этих двух условий мы и получаем  $a_1 = a_2 = 1/2$ . Таким образом видно, что мы должны существенно изменить всю картину, которую согласно старой теории света представляло электромагнитное поле, окружающее колеблющиеся или вращающиеся электроны. Теперь мы должны представлять себе это поле не как непрерывно сбегающиеся, а как две системы волн, равные и противоположные (в случае установившегося движения электронов) друг другу: одни разбегающиеся, а другие такие же сбегающиеся.

По ведь совокупность таких волн есть, как мы знаем из оптики, не что иное, как „стоячие волны“, а стоячие волны обладают тем важным свойством, что энергия в них не рассеивается. Таким образом и объясняется между прочим очень просто по новой обобщенной электродинамике первый постулат Бора. Равным образом заметим, что можно объяснить и второй постулат Бора: пропорциональность радиусов консервативных орбит электронов в атомах водорода квадратам натуральных чисел.<sup>9)</sup> Однако обратимся к тем изменениям, которые вносит новая теория в самую картину электромагнитного поля сравнительно со старой. Мы видели, что по новой теории поле вокруг электронов состоит, вместо непрерывно бегущих волн (от электронов в бесконечность) из стоячих волн. Но это происходит только при установившемся движении электронов, т. е. в том случае, если волны, бегущие согласно теории от электронов, все равны между собой. Но когда электроны перескакивают с одной орбиты на другие, т. е. когда орбиты их меняются, что показывает математический анализ, картина поля в этом случае усложняется<sup>10)</sup>. Именно в это время вокруг электронов образуются кроме стоячих волн подобных тем, которые существуют при установившемся движении, еще и бегущие волны, такие существуют по старой теории вообще. Но различие между этими двумя теориями состоит в том, что то время как там бегущие волны существуют постоянно, здесь они возникают только во время перескакивания электронов между орбитами. Кроме того, здесь эти бегущие волны зависят по величине и по закону от коэффициента затухания  $\alpha$  движения электрона, так что, например, при увеличении затухания они усиливаются, при уменьшении  $\alpha$  до нуля они совсем пропадают.

Равным образом при  $\alpha$  положительном бегущие волны движутся от электронов в бесконечность, а при  $\alpha$  отрицательном (т. е. не при затухании, а при усилении колебаний) они сбегаются из бесконечности к электронам, обратно тому, что происходит, если считать по вильной старой теории. Между прочим эта последняя чрезвычайно важная особенность новой теории излучения ясно видна и из другой формулы: энергии  $W$ , излучаемой сквозь сферу радиуса  $r$  —  $a$  вокруг вращающегося или колеблющегося электрона<sup>11)</sup>:

$$W_{r-a} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{c^3} \dot{v}^2 2\alpha \frac{a}{c}.$$

Как видно, эта последняя формула аналогична формуле (1) Герца для старой теории. Отличие ее заключается только в дополнительном множителе  $2\alpha \frac{a}{c}$ , где  $\alpha$  — упомянутый выше коэффициент затухания.

Весьма полезно сопоставить эти обе формулы (1) и (2) между собой. Из этого сопоставления мы видим, что в то время как излучение вокруг электрона по формуле (1) всегда существует и равно положительной величине (при наличии ускорения  $\dot{v}$ ), по формуле (2) оно существует только при  $\alpha \neq 0$ , т. е. при неустановившемся движении и меняет свой знак при изменении знака коэффициента  $\alpha$ . А именно излучение является положительным при  $\alpha > 0$ , и отрицательным, т. е. тело не излучает, а поглощает энергию, при  $\alpha < 0$ . Наконец, при  $\alpha = 0$ , т. е. при установившемся движении излучение равно нулю.

Таким образом, резюмируя, можно сказать, что согласно новой теории электроны или их системы (например, электроны, заключенные в источнике света или равным образом в антенне) испускают в сущности не самую энергию колебаний а только модуляцию этой энергии<sup>11)</sup>.

Из той же формулы (3) виден смысл и самых световых квантов. Действительно, в то время как по старой теории так называемая дискретность светового излучения (дробление энергии на атомы или кванты) сама собой отнюдь не предreshается и не вытекает из формулы (1) Герца, как это выяснено в достаточной степени раньше, по новой теории она вложена, так сказать, в соответствующие формулы. В самом деле, как требует второй постулат Бора, доказываемый новой теорией, электронные орбиты разделяются на два класса: 1) консервативные орбиты и 2) переходные орбиты. Электрон, попавший на одну из первых орбит, может двигаться по ней неопределенно долго. В то время коэффициент  $\alpha$  для него равен нулю и излучения нет. Но стоит электрону по той или другой причине уклониться от той устойчивой орбиты, для него начинается движение по второй переходной орбите, сопровождающейся сокращением радиуса этой орбиты. Он движется здесь по плоской орбите и сопровождается излучением пока радиус ее не сократится до радиуса следующей меньшей консервативной орбиты, после чего он снова начинает двигаться устойчивым образом, причем излучение снова прекращается. Количество излученной в это время энергии и следует считать равной одному кванту. Но так как консервативные орбиты, как и переходные, имеют вполне определенные размеры, зависящие от механических и электрических свойств ядра и электронов и их конфигураций, а также вполне определены периоды обращения электронов по орбитам и по переходным спиральям, то этим вполне объясняются и те совершенно точные числа, которыми характеризуются кванты различных родов, испускаемые током или другими источ-

<sup>9)</sup> См., например, Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов, „Электричество“ № 2 (1932), Б. Л. Розинг.  
<sup>10)</sup> „Вестник электротехники“ № 11—12, 1931, стр. 415, формула (4).

<sup>11)</sup> Отсюда также следует, что, например, при передаче сигнала при помощи несущей волны эта последняя, с одной стороны, представляет собою не бегущую, а стоячую волну, а с другой — энергия на нее затрачивается только при ее пуске в ход.

линии света. Тот же факт, что испускание энергии электронами происходит только при движении их по определенным орбитам (спиралям), по консервативным орбитам не происходит и что одни движения чередуются с другими, является доказательством также и непрерывности излучения.

#### 4. Комбинационные тона.

Закон квантовых частот. Однако указанным ограничиваются особенные свойства квантов. Оказывается, что хотя кванты и представляют собой целые числа колебаний, из которых одни соответствуют движению электронов по одним орбитам, а другие — по другим, действительности каждый квант характеризуется только одним общим числом колебаний в секунду  $\nu$ , как и одним общим тоном или одним цветом, одной длиной волны. Дело обстоит таким образом, как будто, или держаться той же звуковой аналогии из бесчисленного множества тонов, образующего нечто в роде звукового шума, известного в оптике под названием сплошного спектра, выделяется характерная для данного кванта очень яркая спектральная линия с определенной частотой  $\nu$ . Это последнее число выражается следующей формулой, которая называется законом частот и установлена Бором в качестве третьего постулата:

$$\nu = \frac{W_1 - W_2}{h} \quad (4)$$

Здесь  $\nu$  — означает частоту колебаний, характеризующих данный квант,  $W_1 - W_2$  — его энергию, т. е. разность энергий движения электрона вдоль тех орбит, между которыми происходит перескакивание его, и  $h$  — постоянное число Планка, равное  $6,54 \cdot 10^{-27}$ .

Нужно признать, что смысл этого постулата довольно ясен, но он может быть разъяснен следующей аналогией со звуковыми явлениями, а именно с так называемыми комбинационными тонами, открытыми Гельмгольцем в области звуковых колебаний.

Известно, что комбинационные тона появляются при одновременном звучании двух простых тонов, обладающих большими амплитудами. Именно Гельмгольц указал как в теории, так и на опыте, что при звучании двух таких тонов  $A \sin mt$  и  $B \sin nt$  появляется сам по себе, просто как результат их сложения, третий тон с числом колебаний  $Am + Bn$ . Повидимому, нечто подобное происходит и в том процессе колебаний, который представляют собой световые кванты. Действительно, при переходах электрона с одной орбиты на другую по спирали соответствуют колебания, периоды которых по мере перехода все уменьшаются, а частота все увеличивается. Таким образом при этих переходах образуются группы мелких колебаний с различными периодами, которые согласно настоящей гипотезе дают серию колебаний с одним общим периодом, выражающимся формулой (3):

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{h}{W_1 - W_2}.$$

Теперь оказывается, что для того чтобы получить эту последнюю формулу, следует предположить следующий закон сложения отдельных колебаний  $\tau$  в виде этого комбинационного тона  $T$ . А именно:

$$T = \int_{W_2}^{W_1} \tau dW : \int_{W_2}^{W_1} dW. \quad (5)$$

Характер составления этой формулы очень похож на формулу Гельмгольца с тем отличием, что во-первых, вместо двух членов мы имеем здесь бесчисленное множество бесконечно малых слагаемых как в числителе, так и в знаменателе, во-вторых, вместо амплитуд  $A$  и  $B$  переменной величиной является  $W$ , т. е. энергия ко-

лебаний или вращений электрона по спирали, и, в-третьих, вместо чисел колебаний в  $1 \text{ sec}$   $m$  и  $n$ , введена обратная им величина, т. е. период колебаний, или вращений  $\tau$ .

Теперь, учитывая, что период вращения электрона вокруг ядра  $\tau$  равен  $\frac{2\pi r}{v}$ , где  $r$  — радиус орбиты, а  $v$  — скорость, что

$$-dW = d \frac{mv^2}{2} = mvdv_1$$

а следовательно,

$$\int_{W_2}^{W_1} \tau dW = \int_{v_1}^{v_2} 2\pi m r dv = h$$

и, наконец, что  $\int_{W_2}^{W_1} dW = W_1 - W_2$  мы и находим без труда искомый закон частот:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{W_1 - W_2}{h}.$$

Таким образом под световыми квантами мы должны понимать не что иное как определенные отдельные группы электромагнитных бегущих волн, скадывающиеся в комбинационные колебания с общими периодами  $T$  согласно формуле (5).

#### 5. Вылетание электронов под действием квантов из фотоэлементов

Обратимся теперь к другой стороне дела: к поглощению квантов фотоэлементами и вылетанию электронов из фотоэлементов под действием этих квантов. Это есть процесс, обратный тому, что мы видели в источнике света. Он более прост, чем предыдущий процесс, и всецело основан на формуле механической силы (2). Действительно, под действием положительных импульсов вектора Пойнтинга, возникающих от бегущих волн вокруг источника света и направленных вдоль световых волн, в светочувствительных слоях фотоэлементов появляются также направленные механические силы. Эти силы, как нетрудно видеть из формулы (2), действуют на отрицательные электроны (отрицательную плотность  $\rho$ ) в сторону, направленную от источника света <sup>12)</sup>, а на положительные электроны и ионы — в обратную сторону. Результатом этого действия и должно быть: в гидридных (электролитических) прослойках  $d$  указанных слоев (рис. 1) — поляризация этих прослоек, а в металлических (проводящих) прослойках  $c$  и  $e$  — электризация этих последних. Наконец, в конечном результате при достаточно напряженном электрическом поле происходит разрыв светочувствительных слоев в отдельных их точках и соответственные отрицательные электроны  $b$  (рис. 1) вылетают из фотоэлементов.

Нужно при этом заметить, что этому разрыву способствует, с одной стороны, наличие электрической твердой (гидридной или другой) прослойки, с большой индуктивной способностью, а с другой стороны — малая масса (или плотность) мономолекулярного отрицательного слоя  $c$ , который отрывается от положительно заряженного основного слоя  $e$  фотоэлемента.

Как было выяснено в моей статье „Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов“, в этом именно направлении и ведется работа по усовершенствованию временных фотоэлементов за границей и у нас.

<sup>12)</sup> Нужно вообще заметить, что в данном случае предполагается, что световые кванты падают на светочувствительный слой фотоэлемента с задней или наружной его стороны, а электроны вылетают с внутренней противоположной стороны.

## ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Передача электрической энергии по железным тросам<sup>1)</sup>

Инж. Л. П. Лигоцкий

Киевский филиал Украинского  
института промэнергетики

## От РЕДАКЦИИ

Одна из шести запроектированных Украинским научно-исследовательским институтом опытных линий электропередачи на железных тросах, рассчитанных по методу, приведенному в ст. инж. Лигоцкого, осуществлена и находится в эксплуатации с 15 декабря 1932 г. Пробная эксплуатация дала вполне удовлетворительные результаты. Линия эта находится в ведении Селэнерго — Артемгрэс — Кундруча.

Вопрос целесообразности и необходимости применения в настоящее время железных витых проводов (тросов) очевиден по целому ряду экономических соображений, а поэтому мы на нем подробно не будем останавливаться. Цель настоящей статьи проанализировать методы выбора экономической плотности тока в железном проводе и дать простую формулу, позволяющую быстро и просто определять экономически наивыгоднейшее сечение провода, а также привести числовой пример, иллюстрирующий теоретические рассуждения.

Вывод формулы наивыгоднейшей плотности тока произведем, исходя из годовой стоимости линии, с учетом, однако, того, что сопротивление линии изменяется в зависимости от силы тока, т. е.  $R=f(I)$ . Последнее обстоятельство осложняет вывод формулы и заставляет нас вводить в процессе вывода некоторые допущения. Эти допущения, как показывают дальнейшие подсчеты, большой ошибки не вносят в выбор сечения провода, принимая во внимание то обстоятельство, что шкала сечений железных витых проводов-тросов будет стандартизована (сечения по предполагаемому нами стандарту следующие: 35, 50, 70, 95, 120, 135, 150, 180 и 240 мм<sup>2</sup>).

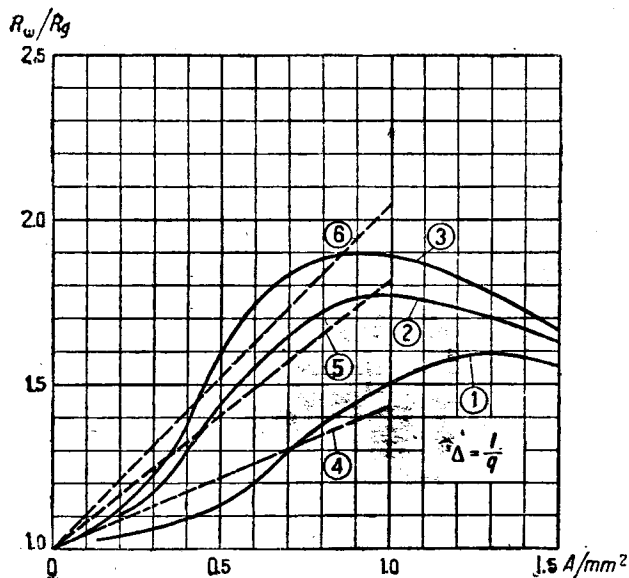


Рис. 1. Зависимость между активным сопротивлением постоянному току и переменному току 19-жильных стальных тросов в функции плотности тока. Сплошные кривые — результаты экспериментального исследования, пунктир — заменяющие их прямые.

1 и 4 — диаметр жилы	20,5 мм	сечение троса	50 мм <sup>2</sup>
2 и 5 —	2,55		95
3 и 6 —	2,85		120

<sup>1)</sup> В обработке материала по исследованию железных проводов для составления данной статьи принимал участие сотрудник Электродела КФИПЭ инж. Тетельбаум. Автор выражает ему свою благодарность.

<sup>2)</sup> Кривые и все характеристики для стандартных сечений железных проводов по окончании работы будут КФИПЭ изданы в виде отдельного сборника

Годовые эксплуатационные расходы по высоковольтной линии состоят из двух компонент: первая состоит из годовых потерь в линии (называемые „переменные расходы“) — зависит от нагрузки линии, характера изменения ее в течение года, коэффициента использования максимума нагрузки, сопротивления проводов и стоимость 1 киловатт-года (8760 kWh) и может быть выражена в общем виде следующим образом:

$$K_1 = \frac{3 I_e^2 R_\omega C}{1000} \text{ руб/год}$$

здесь  $K_1$  — переменные расходы (руб/год),  $I_e$  — средний (в течение года) квадратичный ток (А),  $R_\omega$  — активное сопротивление железного провода (в омах) переменному току  $R_\omega = f(I)$ , зависящее от величины нагрузки линии,  $C$  — стоимость 1 киловатт-года электроэнергии, отпускаемого с машин подстанции в линию, в рублях.

На основании экспериментальных исследований железных витых проводов, произведенных киевским филиалом Украинского научно-исследовательского института промэнергетики, на рис. 1 приведены кривые, дающие зависимость между активным сопротивлением постоянному току  $R_g$  и переменному току  $R_\omega$  в функции от плотности тока

$$\left( \Delta = \frac{I}{q} \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} \right),$$

т. е.

$$\frac{R_\omega}{R_g} = f(\Delta).$$

Указанные кривые взяты для наиболее ходовых сечений 19-жильных тросов сечением 50, 95 и 120 мм<sup>2</sup>. Из рассмотрения кривых мы видим, что дать аналитическое выражение, определяющее зависимость между

отношением  $\frac{R_\omega}{R_g}$  и  $\Delta$  очень трудно, и наиболее простым

решением данного вопроса является замена этих кривых какими-либо эквивалентными им прямыми линиями. Попытки заменить эти кривые кривыми второго или третьего порядка не дали удовлетворяющих нас результатов в отношении точности замены и чрезвычайно осложнили вывод формулы экономической плотности тока, не говоря уже о громоздкости получаемых при такой замене результатов.

Таким образом мы остановились на замене действительных кривых  $\frac{R_\omega}{R_g} = f(\Delta)$  эквивалентными им прямыми линиями, принимая также во внимание и то обстоятельство, что целый ряд предварительных подсчетов, произведенных нами, показал, что экономическая плотность тока для железных витых проводов

лежит в интервале 0,15 — 0,5 А/мм<sup>2</sup>.

Следующим вопросом стоял выбор угла наклона прямых, заменяющих кривые, к оси абсцисс. Наклон прямых желательно было выбрать таким образом, чтобы тангенс угла наклона их был связан определенным образом с сечением самого провода. Заменяя кривые прямыми, проходящими не через начало координат, в общем виде можно легко написать зависимость между  $\frac{R_{\omega}}{R_g}$  и плотностью тока  $\Delta$ , т. е.

$$\frac{R_{\omega}}{R_g} = a + b\Delta.$$

Откуда сопротивление железного провода переменному току будет выражаться так:

$$R_{\omega} = R_g (a + b\Delta).$$

Из рис. 1 видно, что первый параметр для всех прямых будет одинаковым:  $a = 1$ , а второй — различным, т. е.  $b = \operatorname{tg} \alpha$ . Тангенс угла наклона прямых выбирают так, чтобы отношение переменной части ординаты  $b$  при максимальной допустимой плотности тока  $\Delta_{\max}$  к сечению провода  $q$  было для всех прямых одинаковым, т. е.

$$m = \frac{b}{q} \approx \operatorname{const} \text{ и } b = mq \quad (3)$$

нами фактически и сделано на рис. 1, где эти прямые показаны пунктирными линиями. Действительно, пунктирным прямым имеем для плотности тока  $\Delta_{\max}$ .

$$m = \frac{1,06}{120} \approx \frac{0,83}{95} \approx \frac{0,435}{50} \approx 0,00885 \approx 0,00875 \approx 0,0087.$$

В своих дальнейших расчетах для 19-жильных железных проводов, из которых свиваются провода сечением от 50 до 535  $\text{mm}^2$  (наиболее ходовые сечения), принимаем этот коэффициент равным:

$$m_{(19)} = 0,00875.$$

Такое допущение от замены кривых прямыми по указанным нами соображениям большой ошибки вносит в расчет и вполне допустимо. Спланировав площади, очерченные кривыми и осями координат, сдвинутыми вверх по оси координат на постоянную величину  $a = 1$ , а также площади треугольников, полученных путем замены кривых прямыми линиями, имеем такой результат:

Кривые	Прямые
Площади	
$S_1 = 19,2 \text{ см}^2$	$S_1' = 22 \text{ см}^2$
$S_2 = 41,4 \text{ "}$	$S_2' = 42 \text{ "}$
$S_3 = 51,3 \text{ "}$	$S_3' = 53 \text{ "}$

Средние ординаты по площади

$$\left( \frac{R_{\omega}}{R_g} \right)' = \frac{S}{\Delta_{\max}}$$

$h_1 = 2,02 \text{ см}$	$h_1' = 2,2 \text{ см}$
$h_2 = 4,14 \text{ "}$	$h_2' = 4,2 \text{ "}$
$h_3 = 5,13 \text{ "}$	$h_3' = 5,3 \text{ "}$

При масштабе абсцисс

$$\Delta_{\max} = 1 \text{ А/мм}^2 = 10 \text{ см.}$$

Взяв отношения средних ординат по площади, получим средние величины ошибок

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{2,02}{2,2}\right) \cdot 100 &= 8,1\%, \\ \left(1 - \frac{4,14}{4,2}\right) \cdot 100 &= 1,6\%, \\ \left(1 - \frac{5,13}{5,3}\right) \cdot 100 &= 3,2\%. \end{aligned}$$

Если бы мы взяли отношение ординат, подсчитанных относительно оси абсцисс, не сдвинутой вверх на величину параметра  $a = 1$ , то получили бы значительные ошибки, и ошибка тогда была бы не выше 2%.

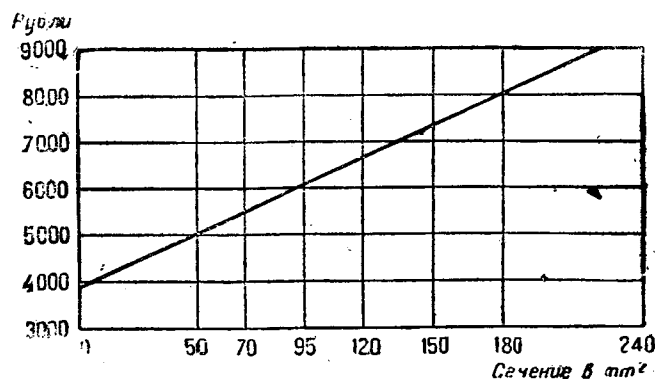


Рис. 2. Кривая  $G = A + Bq = 3250 + 25,35q$

Таким образом теперь мы можем в выражение (1) поставить значение сопротивления переменному току железного провода из формул (2) и (3), т. е. написать

$$K_1 = \frac{3I_e^2 R_{\omega} C}{1000} = \frac{3I_e^2 (1 + mq\Delta) R_g C}{1000} \quad (4)$$

Так как сопротивление железного провода постоянному току практически может быть принято постоянным, то значение его будет определяться обычным путем, а именно:

$$R_g = \frac{l}{kq} \quad (5)$$

Подставляя значение  $R_g$  по формуле (5) в выражение (4), получаем окончательную стоимость годовых потерь:

$$K_1 = \frac{3I_e^2 (1 + mI_e) l C}{1000} \text{ руб/год.} \quad (6)$$

Вторая составляющая годовых эксплуатационных расходов постоянна, не зависит от нагрузки линии и количества передаваемой электроэнергии, а зависит только от первоначальной стоимости линии и может быть выражена следующим образом:

$$K_2 = (A + Bq) \frac{l p}{100} \text{ руб/год,} \quad (7)$$

где  $K_2$  — величина постоянных расходов по линии (руб/год);  $A + Bq$  — стоимость 1 км линии, включая материалы и рабсилу, в зависимости от сечения железного провода, определяемая по рис. 2 и табл. 1;  $l$  — длина линии (км);  $p$  — проценты ежегодных отчислений (текущий ремонт, амортизация и т. д.).

Полные годовые расходы по линии определяются суммированием выражений (6) и (7)

$$K = K_1 + K_2 = \frac{3I_e^2 (1 + mI_e) l C}{1000 kq} + (A + Bq) \frac{l p}{100} \quad (8)$$

Максимальное допустимое (экономическое) сечение железного троса определится путем нахождения минимума выражения (8), для чего необходимо взять первую производную от переменного  $K$  по  $q$ , приравнять ее нулю и затем решить полученное уравнение относительно  $q$ :

$$\frac{dK}{dq} = \frac{3I_e^2 (1 + mI_e) l C}{1000 kq^2} + \frac{B l p}{100} = 0, \quad (9)$$

откуда

$$q = \sqrt{0,3 \cdot I_e \sqrt{1 + mI_e} \sqrt{\frac{C}{k B p}}} \text{ мм}^2. \quad (10)$$

В выражении (10) мы получим величины, вполне определенные и известные проектировщику, за исключением значения среднего квадратичного тока за год (8760 час.). Для медных и алюминиевых проводов, у

\*) Первое произведенное выражение (8) дает нам условие минимума функции (9), так как вторая производная имеет положительный знак.

Сводная смета на строительстве 1-км линии передачи железными проводами марки Ж

Таблица

НАИМЕНОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И РАБСИЛЫ		Количество единиц	Сечение проводов линии (мм²)									
			70		95		120		150		180	
			Единиц- ная цена	Сумма	Единиц- ная цена	Сумма	Единиц- ная цена	Сумма	Единиц- ная цена	Сумма	Единиц- ная цена	Сумма
1	Голый железный витой провод марки Ж сечением											
	70 мм² . . . . .	1,64 t	500	820	—	—	—	—	—	—	—	—
	95 мм² . . . . .	2,22 t	—	—	500	1 100	—	—	—	—	—	—
	120 мм² . . . . .	2,8 t	—	—	—	—	500	1 400	—	—	—	—
	150 мм² . . . . .	3,61 t	—	—	—	—	—	—	500	1 755	—	—
	180 мм² . . . . .	4,34 t	—	—	—	—	—	—	—	—	500	2 100
2	Изоляторы (комплектные гирлянды)											
	подвесные-поддерживающие . . . . .	21	35	735	35	735	35	735	35	735	35	735
	натяжные . . . . .	6	80	480	80	480	80	480	80	480	80	480
3	Опоры											
	промежуточные . . . . .	7	115	805	115	805	120	840	125	875	135	945
	анкерные . . . . .	1	200	200	210	210	220	220	250	250	270	270
	Итого 1 + 2 + 3 . . . . .	—	—	3 040	—	3 340	—	3 675	—	4 095	—	4 635
4	Разный мелкий монтажный материал (10% с суммы 1 + 2 + 3) . . . . .	—	—	304	—	334	—	367	—	409	—	463
	Итого 1 + 2 + 3 + 4 . . . . .	—	—	3 344	—	3 674	—	4 042	—	4 504	—	5 098
5	Транспорт (12% от 1 + 2 + 3 + 4) . . . . .	—	—	401	—	440	—	485	—	540	—	610
6	Монтаж проводов . . . . .	3 000	15	450	17	510	23	690	25	750	27	810
7	Установка опор											
	промежуточных . . . . .	7	50	350	50	350	50	350	50	350	50	350
	анкерных . . . . .	1	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120
	Итого 6 + 7 . . . . .	—	—	900	—	960	—	1 140	—	1 200	—	1 280
8	Сопрасходы (40% от 6 + 7) . . . . .	—	—	360	—	384	—	456	—	480	—	512
	Итого 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 . . . . .	—	—	5 005	—	5 458	—	6 123	—	6 723	—	7 496
9	Технадзор (4% от 1 + 8) . . . . .	—	—	200	—	218	—	245	—	269	—	300
	Итого 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 . . . . .	—	—	5 205	—	5 676	—	6 368	—	6 992	—	7 796
10	Прочие неучтенные расходы 5% . . . . .	—	—	260	—	284	—	314	—	349	—	389
	Всего . . . . .	—	—	5 465	—	5 960	—	6 682	—	7 341	—	8 185

которых активное сопротивление  $R_{\omega} \approx \text{const}$  не является функцией нагрузки, средний квадратичный ток выражается следующим образом:

$$I_s = I_{\max} \sqrt{\frac{1}{8760} \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right)^2 dt} \quad \text{А.}$$

При применении железных проводов средний квадратичный ток определяется значительно сложнее, его определением, вернее, определением величины  $I_s \sqrt{1 + mI_s}$ , необходимой нам для подстановки в формулу (10), мы сейчас и займемся.

Годовые потери в линии могут быть выражены так:

$$3I_s^2 R_{\omega e} \cdot 8760 = 3 \int_0^{8760} I^2 R_{\omega} dt.$$

Подставляя в последнюю формулу вместо  $R_{\omega e}$  и  $R_{\omega}$  значения из выражения (2), имеем:

$$3I_s^2 (1 + mI_s) R_g \cdot 8760 = 3 \int_0^{8760} I^2 (1 + mI) R_g dt.$$

Решая это уравнение относительно  $I_s \sqrt{1 + mI_s}$ , при этом за неизвестное, получаем

$$I_s \sqrt{1 + mI_s} = \frac{1}{\sqrt{8760}} \sqrt{\int_0^{8760} I^2 (1 + mI) dt}.$$

Произведя дальнейшие алгебраические преобразования, окончательно имеем:

$$I_s \sqrt{1 + mI_s} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{8760}} \sqrt{\tau + m\theta I_{\max}}. \quad (11)$$

Здесь

$$\tau = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right)^2 dt$$

квадратичное время полных потерь, определяемое обычным путем по годовому графику

$$\theta = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right)^3 dt$$

кубичное время полных потерь, определяемое по годовому графику нагрузки и присущее исключительно железным витым проводам в отличие от медных и алюминиевых проводов, где это время потерь отсутствует.

Подставляя полученное значение для выражения

$$I_s \sqrt{1 + mI_s}$$

по формуле (11) в выражение (10), получаем формулу, определяющую экономически наиболее выгодное сечение железного витого провода:

$$g_{\text{ж}} = 5,85 \cdot 10^{-3} I_{\max} \sqrt{\frac{(\tau + m\theta I_{\max}) C}{k B p}}. \quad (12)$$



как обычно при проектировке величины средних фактической  $\tau$  и кубичной  $\Theta$  времени полных потерь энергии неизвестны, а задается лишь величина коэффициента использования максимума нагрузки  $P_{\max}$  и годовая выработка  $M$ , т. е.

$$T = \frac{M}{P_{\max}} = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right) dt \text{ час/год,}$$

Для удобства и быстроты пользования при расчетах формулой (12), была определена зависимость для различных значений коэффициентов использования, а именно:  $\tau = f(T)$  и  $\Theta = \varphi(T)$ .

При нахождении соотношений между величинами  $T$ ,  $\tau$  и  $\Theta$  пользовались методом, изложенным в работе инж. А. Я. Рябкова „Электрический расчет высоковольтных линий электропередачи“ (стр. 279—289), где на основании исследований Eimer и Burger приведена зависимость между величинами  $T$  и  $\tau$  для разных коэффициентов использования и характера изменения нагрузочного графика. Не вдаваясь в подробности подходов по нахождению зависимости между  $T$ ,  $\tau$  и  $\Theta$ , так как это вывело бы нас за пределы журнальной статьи, тем более, что в работе инж. Рябкова вопросу нахождения зависимости между  $T$  и  $\tau$  уделено большое внимание, мы считаем нужным лишь дополнить инж. Рябкова, введя зависимость  $\Theta = \varphi(T)$ .

Результаты подсчетов по нахождению этой зависимости даны на табл. 2, а графическая зависимость для нахождения величин  $\tau$  и  $\Theta$  при любом значении коэффициента использования  $T$  дана на рис. 3.

Таблица 2

$T = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right) dt$	0	2 910	3 180	4 380	5 840	6 570	8 760
$\tau = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right)^2 dt$	0	1 752	2 020	2 920	4 672	5 475	8 760
$\Theta = \int_0^{8760} \left( \frac{I}{I_{\max}} \right)^3 dt$	0	1 250	1 425	2 190	2 010	4 925	8 760

Следует здесь обратить внимание читателя на то обстоятельство, что формула (12) выведена при условии, что потери на токи Фуко и гистерезис при прохождении по железным витым проводам переменного тока незначительны, и поэтому эти потери в линии не учитывались, что частично подтверждается производственными опытами. Одновременно следует указать и на то обстоятельство, что сечения железного провода по формуле (12) получаются значительными, чего проектировщику не следует опасаться и смело допускать сечение до 150 мм<sup>2</sup>, не превосходя, однако, в исключительных случаях сечений 180 и 240 мм<sup>2</sup>. Последние два сечения нежелательно применять из-за затруднений, могущих возникнуть при их монтаже. Расчеты промежуточных П-образных деревянных (сосновых) опор показали, что при условии подвески железных проводов на выпускающих или скользящих клеммах можно (с проектной точки зрения) подвешивать железные провода на П-образных опорах несколько усиленного типа (в отношении размеров столбов и пасанков) вышеуказанных сечений, допуская пролеты до 150 и даже 175 м.

Ниже приведенный числовой расчет можно рассматривать, как первый этап работы Киевского филиала

Украинского научно-исследовательского института промэнергетики в области практического применения постановления опытов по изучению пригодности железных витых проводов-тросов для передачи по ним электрической энергии. Несколько запроектированных нами линий, которые будут осуществлены НИИС Наркомтяжпрома и Главэнерго в самое ближайшее время, в порядке сооружения опытных линий, показывают полную возможность в электрическом отношении применения этих проводов для линий малой мощности.

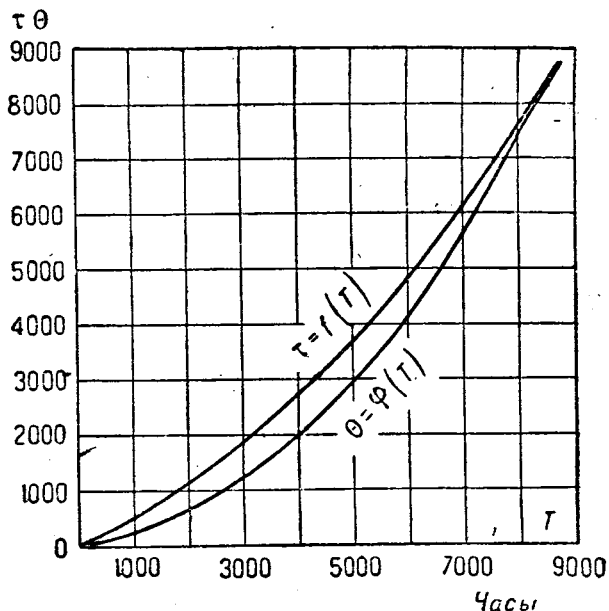


Рис. 3

Следующим этапом нашей работы по составлению стандартов на проекты линий электропередачи с железными витыми проводами явится построение расчетных номограмм и таблиц, позволяющих широким массам инженерно-технических работников нашего Союза осуществить на практике задачу внедрения железных витых проводов в электростроительство Союза и этим самым частично освободить страну Советов от иностранной зависимости в части приобретения за границей цветных металлов. После этих замечаний, имеющих общий характер, переходим непосредственно к электрическому расчету линии.

По нижеуказанному расчету в самое ближайшее время предполагается соорудить опытную линию в Московском районе, и данные ее расчета с небольшими отступлениями здесь и приводятся. Результаты расчетов выкладок для удобства и наглядности сведены в таблицы.

**Задание.** Максимальная мощность, потребляемая приемниками энергии,  $P_2 = 1900$  kVA, длина линии  $l = 26$  km, средний коэффициент мощности у потребителя  $\cos \varphi_2 = 0,8$ , напряжение у приемника  $E_2 = 30$  kV, коэффициент использования максимума нагрузки у потребителя  $T = 2500$  час/год, стоимость отпускаемой энергии  $C = 440$  руб. за 1 киловатт-год; величина ежегодных отчислений  $p = 12\%$  в год.

Прежде всего подсчитываем экономически наиболее выгоднейшее сечение железного витого провода для данной линии при заданном нами напряжении у потребителя  $E_2 = 30$  kV по формуле (12):

$$q_{\text{жк}} = 5,85 \cdot 10^{-3} I_{\max} \sqrt{\frac{(\tau + m \Theta I_{\max}) C}{k B p}}$$

Здесь приняты те же обозначения, как и выше при выводе нами формулы (12).



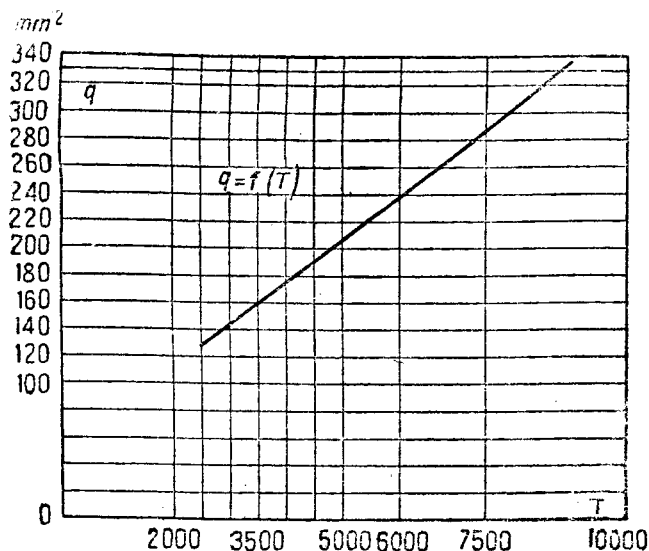


Рис. 4

Определяем все величины, входящие в состав формулы (12), а именно:

$$I_{\max} = \frac{P_2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot E_2} = \frac{1900 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 30 \cdot 10^3} = 36,6 \text{ A},$$

$$k = 7,68 \frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$$

данным лаборатории Института промэнергетики и прохождении постоянного тока по железным про-кам);

Таблица 3

T	τ	θ	q <sub>эк</sub> mm <sup>2</sup>
2500	1500	950	130
3000	1850	1250	146
3600	2250	1660	162
4500	3100	2400	192
6000	4150	4100	240
8760	8160	8160	330

$$B = 23,35 \cdot 10^{-3} \text{ руб/mm}^2 \text{ м}$$

данным проектной группы электроотдела Института промэнергетики);

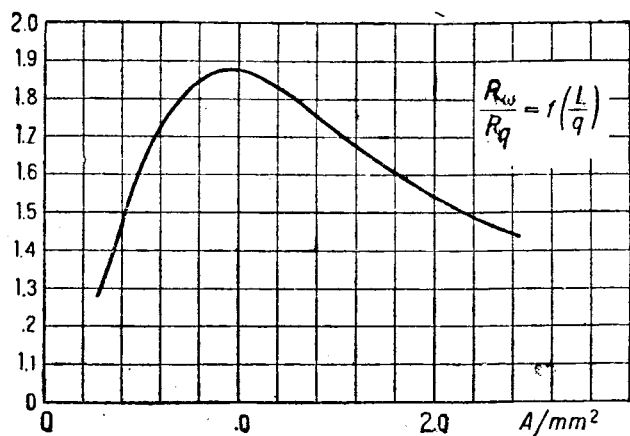
$$p = 12\%;$$

$$m = 0,00875$$

данным лаборатории Института промэнергетики). при  $T = 2500$  час/год по кривым находим  $\tau = 1500$  год и  $\theta = 950$  час/год (определено по рис. 3).

оставляя все исходные данные, имеем экономическое сечение провода-троса:

$$5,85 \cdot 10^{-3} \cdot 36,6 \sqrt{\frac{(1500 + 0,00875 \cdot 36,6 \cdot 950) 440}{7,68 \cdot 23,35 \cdot 10^{-3} \cdot 12}} \approx 130 \text{ mm}^2.$$



Активное сопротивление 19-жильного стального троса марки Ж-120\*. Диаметр жилы 2,85 мм, временное сопротивление  $\sigma/\text{г/мм}^2$ ; химический состав: С—0,19, S—0,02, Ni—0,5, P—0,031.

Поскольку в нашем примере коэффициент использования может меняться в широких пределах, в зависимости от условий работы приемников электроэнергии при всех прочих постоянных, то определим величины экономических сечений проводов в функции от коэффициента использования  $T$ , т. е.  $q_{\text{эк}} = f(T, \tau, \theta)$ .

Для нашего конкретного случая формулу (12) в общем виде после всех алгебраических преобразований можно представить следующим образом:

$$q_{\text{эк}} = 3,09 \sqrt{\tau + 0,32 \theta}. \quad (13)$$

Задаваясь разными коэффициентами использования и определяя по кривым соответственно полных потерь ( $\tau$  и  $\theta$ ), и подставляя их затем в формулу (13), имеем результаты, сведенные в табл. 3 и графически представленные на рис. 4. Следует здесь отметить характерную особенность кривой, полученной путем построения данных, взятых из табл. 3, а именно: мы имеем прямолинейную зависимость  $g = f(T, \tau, \theta)$ , что было подтверждено целым рядом проделанных автором числовых примеров по расчету линий.

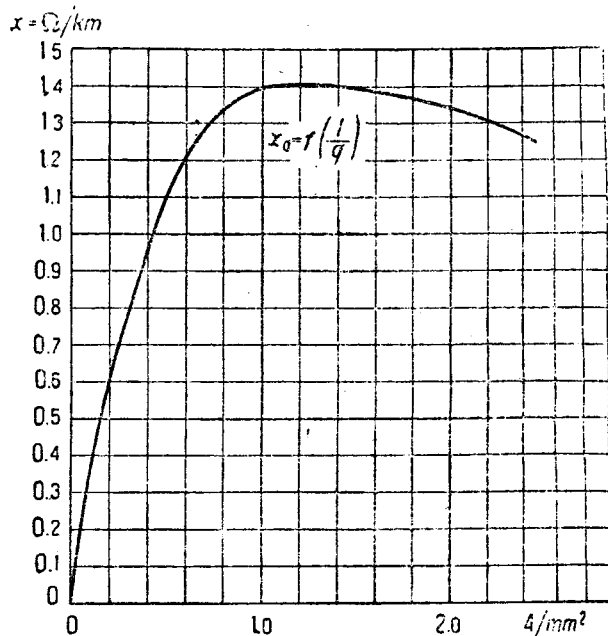


Рис. 6. Индуктивное сопротивление 19-жильного стального троса марки Ж-120 в функции плотности тока.

Поскольку (как это выяснилось на целом ряде проделанных числовых примеров) формула (12) дает несколько преувеличенные значения сечения железного провода, мы для коэффициента использования  $T = 2500$  час/год принимаем сечение  $120 \text{ mm}^2$  (железный витый многожильный провод-трос марки Ж-120).

Имея сечение провода, переходим непосредственно к электрическому расчету линии. Определяем прежде всего постоянные линии. По данным лаборатории Института промэнергетики можно принять сопротивление постоянному току для железных витых проводов-тросов  $R'_g = 130 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{м}}$ , откуда омическое сопротивление провода марки Ж-120 будет

$$R_g = \frac{R'_g}{q} = \frac{130}{120} = 1,085 \frac{\Omega}{\text{км}}.$$

Активное и реактивное сопротивление железных витых проводников переменному току определяем в зависимости от плотности тока

$$\frac{R_{\omega}}{R_g} = f(\Delta) = f\left(\frac{I}{q}\right) \text{ и } x_{\omega} = \varphi(\Delta) = \varphi\left(\frac{I}{q}\right).$$

На рис. 5 и 6 представлены экспериментальные кривые для провода-троса марки Ж-120. Реактивное

противление линии вне, обусловленное внешним полем, определяется по формуле

$$X_{вне} = \omega L_{вне\text{ ср}},$$

$$L_{вне\text{ ср}} = 2,32 \lg \frac{1,26 S}{q} \text{ Н/км},$$

выбранном расстоянии между проводами  $S=1600 \text{ мм}$  диаметре провода марки Ж-120  $d=2r=14,45 \text{ мм}$  внешнюю реактивность провода при горизонтальном расположении трех проводов:

$$X_{вне} = 3,14 \cdot 2 \cdot 2,3 \lg \frac{1,26 \cdot 1600 \cdot 2}{14,45} \cdot 10^{-4} = 0,368 \text{ }\Omega/\text{км}.$$

Полное реактивное сопротивление линии получено сложением двух ее компонент, т. е. внешней реактивности (не зависящей от нагрузки) и внутренней, являющейся функцией плотности тока, т. е.

$$X_{вну} = \varphi(\Delta).$$

Для третьей постоянной линии будет ее емкость относительно земли. Но обычно электрические расчеты для длиною порядка 20÷30 км производят без учета емкости, что подтверждается имеющимися эмпирическими формулами.

Активное сопротивление линии определяем следующим образом:

Согласно кривой  $\frac{R_{\omega}}{R_g} = f(\Delta)$  по рис. 5 для пяти режимов нагрузки (25, 50, 75, 100, 125%), определив пред-

варительно плотность тока в проводе  $\Delta = \frac{I}{q}$ , найдем отношение активного сопротивления проводов переменному току к омическому при постоянном токе, после чего, умножая отношение  $\frac{R_{\omega}}{R_g}$  на постоянный множитель  $R_g$ , получаем величину активного сопротивления. Внутреннее реактивное сопротивление линии определялось аналогичным путем, по кривой, изображенной на рис. 6, причем полное сопротивление, как мы указывали выше, получалось суммированием

$$X_1 = X_{вну} + X_{вне} \text{ }\Omega/\text{км}. \quad (14)$$

Падение напряжения в линии определяем по формуле:

$$\Delta e = I R_{\omega} \cos \varphi_2 + I X \sin \varphi_2 V. \quad (15)$$

Регулирование линии в таком случае оказывается равным:

$$P_e = \frac{\Delta I}{E_{2\text{ ср}}} \cdot 100. \quad (16)$$

Потеря мощности

$$P_w = 3 I^2 R_w \cdot 10^{-3} \text{ кВт},$$

что даст в процентном отношении:

$$P_w = \frac{100 P_w}{P_{\text{кВА}} \cos \varphi_2} = \frac{3 I^2 R_w \cdot 10^{-3}}{P_{\text{кВА}} \cos \varphi_2} \cdot 100. \quad (17)$$

Таблица 4

Наименование	Размерность или обозначение	Нагрузки линии в %				
		125	100	75	50	25
Нагрузка	kW	1 900	1 520	1 140	760	380
Коэффициент мощности	$\cos \varphi_2$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Линейное напряжение	$\sin \varphi_2$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Фазовое напряжение	$E_2 \text{ кВ}$	30	30	30	30	30
Ток	$E_2 \text{ фаз}$	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
Плотность тока	$I \text{ А}$	45,6	36,6	21,4	18,3	9,15
Отношение	$\Delta = \frac{I}{q} \text{ А/мм}^2$	0,382	0,306	0,229	0,152	0,016
Сопротивление постоянному току	$R_{\omega} : R_g$	1,39	1,29	1,195	1,11	1,04
Сопротивление переменному току	$r_g \frac{\Omega}{\text{км}}$	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Сопротивление (активное) линии	$r_{\omega} \frac{\Omega}{\text{км}}$	1,51	1,40	1,295	1,205	1,13
Внешнее реактивное сопротивление	$R_{\omega} = r_{\omega} \cdot l \text{ }\Omega$	39,2	36,4	33,1	31,3	29,4
Внутреннее реактивное сопротивление	$X_{вне} \text{ }\Omega/\text{км}$	0,368	0,368	0,368	0,368	0,368
Полное реактивное сопротивление	$X_{вну} \text{ }\Omega/\text{км}$	1,030	0,900	0,788	0,670	0,565
Активное сопротивление линии	$X_{вне} + X_{вну}$	1,398	1,268	1,156	1,038	0,933
Потеря мощности	$(X_{вне} + X_{вну}) l$	36,35	33,00	30,50	27,00	24,35
Падение напряжения	$P_w = 3 I^2 R_{\omega} 10^{-3}$	245,0	146,3	75,9	31,5	7,4
Падение в %	$P_w = \frac{P_w}{\text{kW}} 100$	12,9	9,65	6,65	4,18	1,94
Активное падение напряжения	$I R_{\omega} V$	1 786	1 330	924	573	269
Реактивное падение напряжения	$I (X_{вне} + X_{вну}) V$	1 657	1 208	836	494	223
Проекция активного падения напряжения	$I R_{\omega} \cos \varphi_2 V$	1 430	1 065	740	458	215
Проекция реактивного падения напряжения	$I R_{\omega} \sin \varphi_2 V$	995	725	502	296	134
Падение напряжения	$\Delta e V$	2 425	1 790	1 242	754	349
Падение в %	$P = \frac{\Delta e}{E_{2\text{ ср}}} 100$	14,00	10,35	7,20	4,35	2,02
Фазовое напряжение	$E_{1\text{ фаз}} = E_{2\text{ фаз}} + \Delta e$	19 725	19 090	18 542	18 054	17 649
Линейное напряжение	$E_{1\text{ лин}}$	34 150	33 040	32 100	31 230	30 520

Весь расчет линии для пяти режимов нагрузки в целях наглядности сведен в табл. 4 и графически представлен на рис. 7.

Напряжение в начале линии будет:

$$E_1 = (E_{2 \text{ фаз}} + \Delta e) \cdot 1,73 \text{ В.} \quad (18)$$

Графическая зависимость между падением напряжения и потерей мощности в линии в функции от нагрузки дана на рис. 8.

Определим теперь величину среднего квадратичного тока. В случае, если проводящий материал проводов диамагнитен, например, медь, алюминий, бронза и т. п., то средняя квадратичная сила тока определяется обычным путем по формуле:

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{8760} \int_0^{\tau} I^2 dt}$$

Для железных витых проводов на основании спрямленных эквивалентных прямых сопротивлений

$$\frac{R_\omega}{R_g} = f(\Delta)$$

по вышеприведенным теоретическим рассуждениям, величина средней квадратичной силы тока в первом приближении определяется из уравнения:

$$I_e \sqrt{1 + m I_e} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{8760}} \sqrt{\tau + m I_{\max} \theta}$$

Преобразовывая это выражение, получаем в общем виде уравнение третьей степени:

$$\frac{I_e^2}{m} + I_e^3 = \frac{I_{\max}^2 \tau}{8760 m} + \frac{I_{\max}^3 \theta}{8760} \quad (19)$$

Обозначив правую часть уравнения через  $A$  и поделив обе части его на  $I_e^3$ , а также приняв, что  $\frac{1}{m} = B$  получаем окончательно уравнение, определяющее средний квадратичный ток в удобном виде для решения путем подбора, а именно:

$$I_e - \frac{A}{I_e^2} = -B. \quad (20)$$

Подставляя наши данные, определяем прежде всего параметры уравнения, т. е.

$$A = \frac{I_{\max}^2 \tau}{8760 m} + \frac{I_{\max}^3 \theta}{8760} = \frac{36,6^2 \cdot 1500}{8760 \cdot 0,00875} + \frac{36,6^3 \cdot 950}{8760} \approx 31510,$$

$$B = \frac{1}{m} = \frac{1}{0,00875} = 114.$$

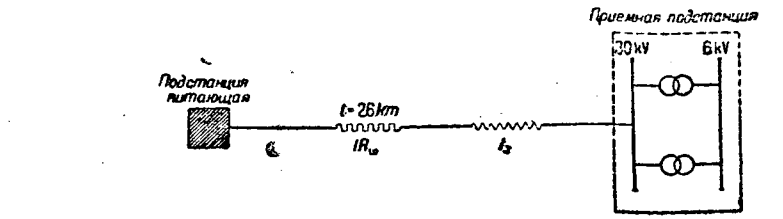
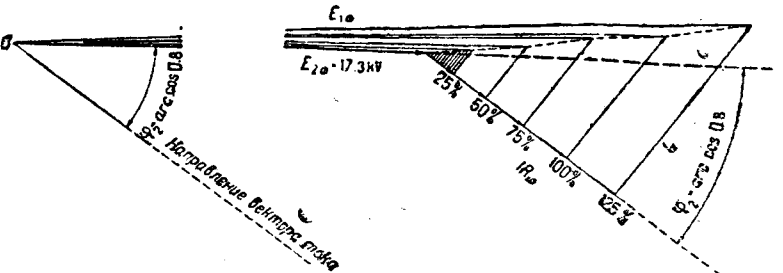


рис. 7 Векторная диаграмма линии электропередачи и ее эквивалентная схема.

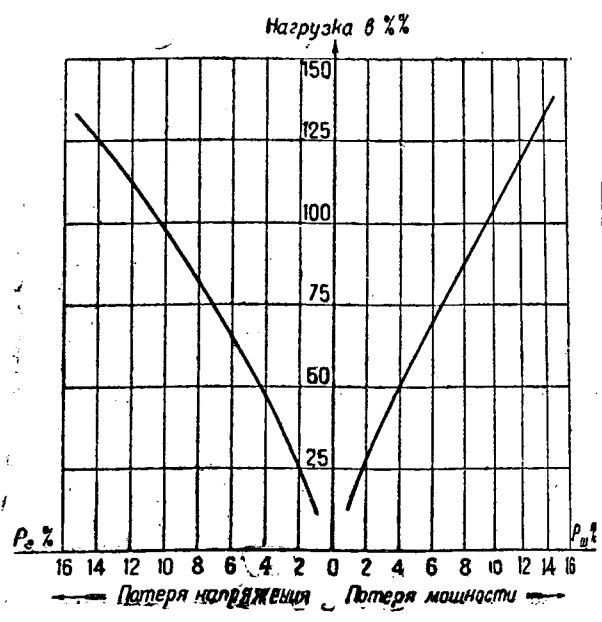


Рис. 8.

откуда

$$I_e - \frac{31500}{I_e^2} = -114.$$

Решая это уравнение путем подбора, имеем величину среднего квадратичного тока в первом приближении.

$$I_e \approx 15,6 \text{ А.}$$

Отсюда величина ежегодных потерь в линии будет  $M_{\text{пот}} = 3 I_e^2 R_\omega \cdot l \cdot 8760 \cdot 10^3 = 3 \cdot 15,6^2 \cdot 26 \cdot 1,18 \cdot 8760 \cdot 10^3 = 14600 \text{ kWh}$  год.

Здесь  $I_e = 15,6 \text{ А}$  — средний квадратичный ток,  $R_\omega$  — активное сопротивление железного витого провода марки Ж-120 при плотности нагрузки

$$\Delta e = \frac{-I_e''}{q_3} = \frac{15,6}{120} = 0,13 \text{ А/мм}^2,$$

$l = 26 \text{ км}$  — длина линии.

Стоимость ежегодных потерь в проводах линии, следовательно, будет:

$$K_{\text{пот}} = \frac{M_{\text{пот}} C}{8760} = \frac{196000 \cdot 440}{8760} = 9850 \text{ руб/год.}$$

Средний годовой к. п. д. линии

$$\eta_{\text{год}} = \frac{M}{M + M_{\text{пот}}} = \frac{P_2 \cos \varphi_2 T}{P_2 \cos \varphi_2 T + M_{\text{пот}}} = \frac{1900 \cdot 0,8 \cdot 2500}{1900 \cdot 0,8 \cdot 2500 + 196000} \approx 0,95.$$

Учет влияния трансформаторов производится обычным путем. Поэтому, не желая усложнять расчета, здесь его не приводим.

В заключение электрического расчета произведем проверку нашей линии на явление короны, причем ниже приведенный подсчет короны показывает, что этим явлением для железных витых проводов, вообще говоря, можно пренебречь.

По Реек разрядное напряжение между проводами определяется следующим образом:

$$E_{ms} = \sqrt{3} q_{ms} r \ln \frac{S}{r} = 2,33 q_{ms} r \lg \frac{S}{r} \text{ кВ,} \quad (23)$$

где градиент определяется по следующей формуле:

$$q_{ms} = g_0 \sigma m_0 \left( 1 + \frac{0,01}{\sqrt{\sigma r}} \cdot \frac{S}{r} \right) \text{ кВ/см.} \quad (24)$$

Здесь  $q_0$  — прочность воздуха на пробой,  $\sigma$  — влажность воздуха,  $m_0$  — коэффициент шероховатости проводов,  $S$  — расстояние между проводами.

Принимаем  $m_0 = 0,85$  (для витых проводов),  $\sigma = 0,9$  (условий бури, по Машкиллейсону),  $S = 1600 \text{ mm}$ ,

$$r = \frac{d}{2} = \frac{14,45}{2}$$

Указанное разрядное напряжение должно быть не выше, чем полуторное линейное напряжение.

$$E_m = \sqrt{3} \cdot 85,5 \cdot \frac{14,45}{20} \cdot 2,33 \lg \frac{160}{14,45} = 585 > 45 \text{ kV} \quad (25)$$

$$E = 30 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \left( 1 + \frac{0,01}{\sqrt{0,9 \cdot \frac{14,45}{20}}} \cdot \frac{1600}{\frac{14,45}{20}} \right) = 85,5 \text{ kV/cm.} \quad (26)$$

Видимая корона по Peek для нашей линии может быть лишь при напряжении

$$E_{(mv)} = \sqrt{3} \cdot g_{mv} \cdot r \cdot \lg \frac{S}{r} = \sqrt{3} \cdot 31 \cdot \frac{14,45}{20} \cdot 2,33 \lg \frac{1600}{14,45} =$$

$$= 194 > 45 \text{ kV.}$$

$\Sigma E_{mv}$  на много превосходит нормальное напряжение линии  $E_2 = 30 \text{ kV}$ . Здесь

$$g_{mv} = g_0 \sigma m_0 \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \sigma}} \right) = 30,0 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{0,9 \cdot \frac{14,45}{20}}} \right) \approx 31,5 \text{ kV/cm}$$

градиент видимой короны.

Величина критического напряжения, т. е. того напряжения, при котором появляются потери на корону, определяется также по формуле Peek

$$E_0 = \sqrt{3} \cdot 48,9 \cdot m_0 \sigma r \lg \frac{S}{r} = \sqrt{3} \cdot 48,9 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot \frac{14,45}{20} \cdot \lg \frac{160 \cdot 20}{14,45} = 110 > 45 \text{ kV.}$$

На этом и исчерпывается электрический расчет линии электропередачи малой мощности с железными витыми проводами-тросами.

## Схлестывание проводов

Инж. Г. Т. Виноградов  
Энергострой, Липецк

Под этим термином в эксплуатации сетей разумеется электрическое или механическое касание проводов между собой под действием ветра.

Одним из основных моментов при сооружении высоковольтных линий передач в местах, усиленно гололедных с сильными ветрами, является выбор расстояния между проводами, определяемого исключительно соображениями обеспечения от схлестывания, так как расстояния, определяемые по диэлектрической прочности воздушной изоляции, по самосиндукции, по индуктивному и емкостному сопротивлению, потерями на корону и другими электрическими условиями работы линии передачи оказываются недостаточными в отношении схлестывания проводов ветром.

Движение проводов под действием ветра зависит не только от силы и равномерности ветра, но также от физических свойств висящего провода: от собственного веса, от веса гололеда, от стрелы провеса, жесткости провода и др. Скорость ветра меняется в зависимости от высоты расположения наблюдаемой точки от земли. Как видно по кривой рис. 1, с изменением высоты на 5 м скорость ветра меняется примерно на 1 м/сек. Скорость ветра и направление его меняются же в зависимости от рельефа местности. Поэтому провода, расположенные в горизонтальной плоскости, нельзя считать находящимися в совершенно одинаковых условиях в отношении скорости и направления ветра. Несомненно, что провода, расположенные в одной горизонтальной плоскости, находятся в более благоприятных условиях, чем провода, расположенные в вертикальной плоскости, но как для тех, так и для других должны приниматься при расчете какой-то коэффициент неравномерности, учитывающий как изменение скорости, так и направление ветра. Применительно к указанной кривой изменение скорости ветра можно считать от 0,5 до 1 м/сек на 1 м расстояния между проводами.

Рассмотрим условия движения подвижного провода под давлением ветра. Пусть какое-то твердое тело с центром тяжести в точке  $C$ , находящейся от оси вращения на расстоянии  $l$ , движется по направлению скорости из начального положения  $B$  в положение  $C$  (рис. 2). Обозначим массу тела через  $m$  и момент

инерции по отношению к оси вращения через  $K$ . На тело действуют три силы:  $P$ —давление ветра,  $Q$ —вес тела и  $\xi$ —сопротивление движению тела. Предположим силы  $P$  и  $\xi$  — противоположные движению тела. Предположим силы,  $P$  и  $\xi$  постоянными. Равнодействующая сила, являющаяся функцией от силы протяжения, имеет потенциал. Поэтому приращение кинетической энергии равно разности значений силовой функции в конце и в начале движения:

$$\frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_1^2}{2} = \int_0^s X dx + Y dy,$$

где  $X$  и  $Y$ —проекции сил, а  $dx$  и  $dy$ —проекции пройденного телом пути на оси координат.

Обозначив через  $\omega$  угловую скорость, мы будем иметь:

$$\frac{1}{2} K \omega^2 = (P - \xi) l \sin \alpha - Q l (1 - \cos \alpha). \quad (1)$$

Силы  $P$  и  $\xi$  направлены параллельно оси  $X$ -ов.

Сопротивление провода движению состоит из сопротивления среды, жесткости провода и трения ушка гирлянды в крюке.

Сопротивление  $\xi$  в общем мало и составляет около 2—2½% от силы ветра. Сопротивление воздуха при

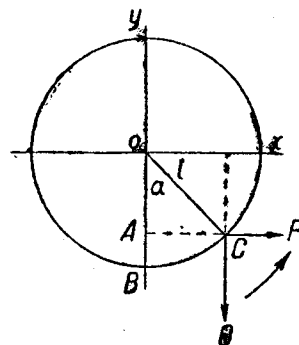
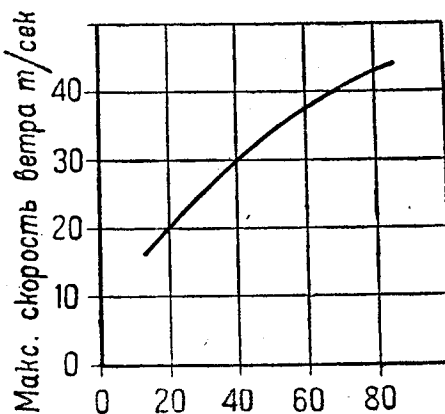


Рис. 2

скорости провода около 3 м/сек по сравнению с давлением ветра при скорости его в 28 м/сек составляет

$$\frac{\xi}{P} = \frac{3^2}{28^2} \approx 0,01.$$

Заменим в уравнении (1)  $(1 - \cos \alpha)$  через  $2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$  и  $\omega$  через  $\frac{d\alpha}{dt}$ ; тогда после упрощения и перенесения членов, получаем:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{\frac{2(P-\xi)}{K}} l \sin \alpha - \frac{4Ql}{K} \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Допустим, что при небольших углах синус равен своей дуге. Заменив в уравнении (2) синусы соответствующими дугами и разделив переменные, получаем:

$$\int_0^{\alpha_{\max}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\frac{2(P-\xi)}{K}} \alpha - \frac{4Ql}{K} \alpha^2} = \int_0^t \sqrt{\frac{Ql}{K}} dt.$$

Проинтегрировав, получаем:

$$\sum_0^{\alpha_{\max}} \arcsin \frac{\alpha Q - (P-\xi)}{P-\xi} = \sqrt{\frac{Ql}{K}} t.$$

Максимум отклонения будет иметь место, когда скорость будет равна нулю:

$$\frac{d\alpha}{dt} = 0.$$

Приравняв нулю левую часть уравнения, получаем:

$$\alpha_{\max} = \frac{2(P-\xi)}{Q}.$$

Нижний предел будем иметь для  $\alpha_0 = 0$ .

Таким образом

$$\arcsin 1 - \arcsin (-1) = \sqrt{\frac{Ql}{K}} t$$

или

$$\frac{\pi}{2} - \frac{3}{2}\pi = \sqrt{\frac{Ql}{K}} t,$$

ткуда

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Ql}}. \quad (3)$$

Из этой формулы видно, что отклонения провода захоронны.

Принимая кривую подвешенного провода за параболу, удем иметь:

момент инерции:

$$K = \frac{8}{15} M f^2,$$

расстояние центра тяжести от оси вращения:

$$l = \frac{2}{3} f,$$

где  $f$ —стрела провеса провода в нижней точке.

Подставив эти значения в формулу (3), имеем окончательно:

$$t = \pi \sqrt{\frac{4}{5} \frac{f}{g}}. \quad (4)$$

Формула (4) позволяет определить асинхронность движения проводов и сокращение расстояния между ними.

Пусть провода  $A$  и  $B$  (рис. 3) начинают свое движение от начального положения  $O$ . Провод  $A$  имеет меньшую скорость, чем провод  $B$  ( $\omega_1 > \omega_2$ ). Поэтому, когда провод  $A$  пройдет в свое крайнее положение 2, провод  $B$  будет находиться еще только в положении промежуточном между начальным и конечным. Следовательно, начальное расстояние  $l_0$  между проводами кратится до  $l_{2-1}$ . Скорость движения проводов не-  
равномерна и изменяется по синусоиде. Но, во избежа-

ние усложнения расчетов, можно принимать скорость равномерной:

$$v = \frac{\alpha f}{t},$$

где

$$t = \pi \sqrt{\frac{4}{5} \frac{f}{g}},$$

а угол  $\alpha$  выражен в радианах. Таким образом, определяя стрелы провеса для двух соседних проводов в зависимости от неравномерности гололедной нагрузки, задаваясь скоростью ветра для каждого из рассматриваемых проводов, определяем скорость движения каждого из них и находим минимальное расстояние между проводами из условий разной их скорости.

Статическое равновесие имеет место тогда, когда ветер дует равномерно с постоянной скоростью и продолжительно, т. е. когда  $P = \text{const}$ . В этом случае угол отклонения зависит только от двух сил—давления ветра и веса провода  $Q$ , и не зависит от тяжения проводов (рис. 4). Величина угла определяется из равенства

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{P}{Q}.$$

Явление статического равновесия проводов носит название „наружности“.

Вернемся к уравнению (1).

В этом уравнении скорость будет равна нулю двух значений угла  $\alpha$ , именно:

$$\alpha = 0$$

$$\arcsin \frac{P-\xi}{Q} = \frac{P-\xi}{Q}.$$

Последнее соответствует максимуму пройденного пути. Следовательно,

$$\alpha_{\max} = 2 \arcsin \frac{P-\xi}{Q}.$$

Сравнивая уравнения (5) и (6) мы видим, что динамический угол отклонения больше статического и что отношение между ними приближается к двум.

Уравнение (6), определяющее динамический угол отклонения, предполагает, что на находящийся в покое провод начинает действовать мгновенно возникающая и постоянная по величине сила  $P = \text{const}$ —случай, который в частом виде в движениях воздуха не наблюдается. Более или менее близко к нему подходят ураганные порывы ветра, но они все же не начинают действовать мгновенно и не имеют постоянной величины. Поэтому в уравнение (6) должен быть введен коэффициент, понижающий размер максимального угла с учетом свойств ветра, как двигающей силы.

$$\alpha_{\max \text{ дин}} = 2 \eta \arcsin \frac{P-\xi}{Q}.$$

Отклоненный провод после затихания ветра получает соответственные колебания. Рассматривая провод как физический маятник и пренебрегая сопротивлением, мы определяем собственные качания по формуле:

$$n = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{g M l}{K}},$$

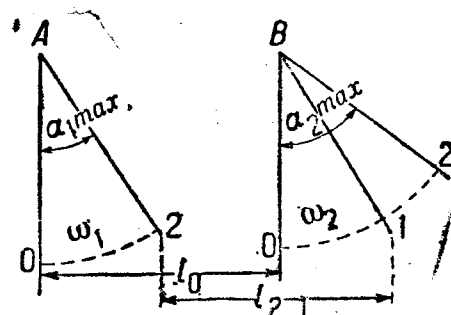


Рис. 3



Рис. 4

$n$ —число простых колебаний в секунду,  $g$ —ускорение свободно падающего тела,  $M$ —масса провода (включая гололедную нагрузку),  $l$ —расстояние центра тяжести системы от оси вращения,  $K$ —момент инерции системы.

Принимая кривую подвешенного провода за параболу, имеем:

$$K = \frac{8}{15} M f^2, \quad l = \frac{2}{3} f;$$

тогда число колебаний в минуту определится по формуле:

$$n = \frac{60}{\pi} \sqrt{\frac{5g}{4f}}, \quad (7)$$

куда

$$= \left( \frac{669}{n} \right)^2. \quad (8)$$

Число собственных колебаний провода зависит от длины провеса.

При одних и тех же температурных условиях разрыв в стреле провеса может происходить только из-за одинаковых нагрузок проводов гололедом, что особенно наблюдается в период спадания гололеда. Вследствие упругого удлинения провод, более нагруженный гололедом, имеет большую стрелу провеса и, следовательно, меньшее число колебаний. Разница в числе колебаний создает сдвиг по фазе колебаний, вследствие чего в определенный момент устанавливается наименьшее расстояние между проводами, подлежащее определению.

Допустим, что крайний провод делает  $n_1$ , а средний— $n_2$  колебаний в минуту. Примем период колебаний первого провода равным единице; тогда период колебаний второго будет  $\frac{n_1}{n_2}$ . Минимальное сближение проводов лучше всего определить графически. Уравнение движения маятника имеет следующую форму:

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{Mgl}{K} \sin \alpha + C.$$

Следовательно, кривая скорости будет синусоидой. Построим для каждого из двух проводов кривые качаний, причем в этом построении можно не принимать во внимание разницы в стрелах провеса и разницы амплитуд, так как нас интересует сдвиг углов (синхронность), для чего достаточно иметь только значения  $n_1$  и  $n_2$ .

Обозначим углы отклонения через  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Предположим, что начальное отклонение обоих проводов 0 и что сближение проводов начинается справа налево. Обозначим переменные углы, соответствующие пройденному проводами пути, через  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Принимая скорость движения равномерной, мы получаем простое соотношение

$$\alpha_1 n_2 = \alpha_2 n_1.$$

Если  $\alpha_1 > \alpha_2$ , т. е. угловая скорость первого провода больше второго, то минимальное расстояние между проводами будет для

$$\alpha_1 = K \beta_1, \quad (9)$$

$K$ —целое число, соответствующее числу полупериодов, прошедших от начала движения до максимального сдвига углов. Тогда соответственно

$$\alpha_2 = \frac{n_2}{n_1} \beta_2. \quad (10)$$

Совместно (9) и (10) дают возможность определить сдвиг углов, при котором расстояние между проводами будет наименьшее.

Коэффициент  $K$  определяется графическим построением или арифметическим подсчетом,

в нашем примере  $\alpha_2 > \alpha_1$ , коэффициент  $K$  равен единице, следовательно, минимальное расстояние между проводами будет для

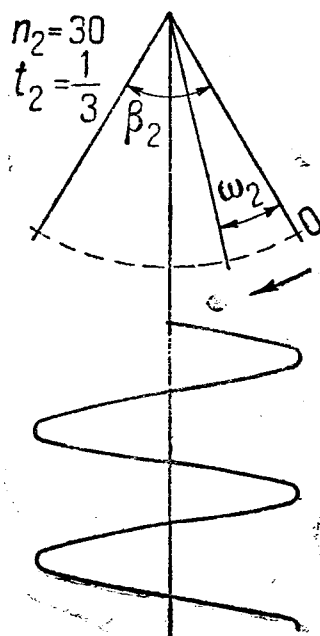
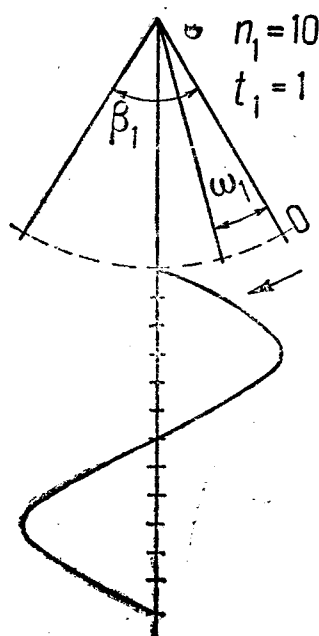


Рис. 5.

$$\alpha_2 = \beta_2$$

и

$$\alpha_1 = \frac{n_1}{n_2} \beta_1,$$

т. е.

$$\alpha_1 = \frac{1}{3} \beta_1.$$

Расстояние между точками подвеса проводов определяем по равенству

$$A = a - b_1 + b_2,$$

как проекцию на горизонтальную плоскость. Здесь  $a$ —минимально допускаемое расстояние между проводами по диэлектрической прочности воздуха,

$$b_1 = \sin \left[ \frac{2\pi}{360} \left( \frac{\beta_1}{2} - \alpha_1 \right) \right] f_1,$$

$$b_2 = \sin \left[ \frac{2\pi}{360} \left( \frac{\beta_2}{2} - \alpha_2 \right) \right] f_2.$$

Когда сдвиг фаз происходит по истечении нескольких периодов, нас не может не интересовать затухание амплитуд. Ввиду малых скоростей провода при собственных качаниях будем считать сопротивление движению пропорциональным первой степени скорости  $r \frac{d\alpha}{dt}$ .

Дифференциальное уравнение движения маятника в сопротивляющейся среде будет:

$$K \frac{d^2\alpha}{dt^2} + r \frac{d\alpha}{dt} + m\alpha = 0.$$

Затухание колебаний происходит по закону:

$$\lg \frac{\alpha_n}{\alpha_1} = \lambda T', \quad (11)$$

где  $\lambda T'$ —логарифмический декремент,  $T'$ —длительность одного качания (полупериода):

$$T' = \frac{\pi}{\sqrt{T - \lambda^2}}; \quad (12)$$

здесь  $T$ —длительность одного качания маятника, т. е. имеющего сопротивления, определяемая по формуле

$$T = \pi \sqrt{\frac{4}{5} \frac{f}{g}}.$$

Логарифмический декремент определяется легко практическим путем. Для этого, раскачав провод, отсчитывают углы и число свободных колебаний. По формуле (11) легко подсчитывается логарифмический декремент.

Явления резонанса в отношении проводов мы считаем редким явлением, так как резонанс предполагает короткое, совпадающее с направлением движения приложения силы (импульс), тогда как ветер дует более или менее длительное время и в одном направлении.

Для выяснения метода приложения вышеприведенных формул, сделаем несколько расчетов для линии 5 kV в усиленно гололедном районе. Условия, для которых должна производиться проверка габарита между проводами, должны быть средние, так как слишком тяжелые удорожают строительство и без нужды пертвляють часть капитала, а слишком легкие не дают достаточных гарантий в надежности эксплуатации.

Сделаем поверочные расчеты для следующих случаев:

А) одна фаза свободна от гололеда, соседняя нагружена гололедом полностью,

Б) одна фаза свободна от гололеда, соседняя фаза нагружена гололедом на 50% с отклоненной в сторону рассматриваемого пролета одной гирляндой (в предположении, что один соседний пролет от гололеда свободен полностью).

Характеристика линии: расположение проводов горизонтальное, провод СА-70, длина пролета 160 м, максимальная скорость ветра 28 м/сек, удельная нагрузка собственного веса провода

$$P_1 = 0,00358 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2 \text{m}}$$

ветра без гололеда

$$P_2 = 0,00517;$$

ветра при гололеде с толщиной корки льда в 20 мм

$$P_3 = 0,0182;$$

же, но при скорости ветра 24 м/сек

$$P_3' = 0,0135;$$

собственного веса и гололеда

$$P_4 = 0,01768.$$

Определим стрелу провеса для провода, нагруженного гололедом при отсутствии ветра и при  $t = -5^\circ \text{C}$ .

Напряжение на растяжение в проводе для этого случая

$$\sigma_1 = 8,06 \text{ kg/mm}^2.$$

Стрела провеса

$$f_1 = \frac{160^2 \cdot 0,01768}{8 \cdot 8,06} = 7,02 \text{ m}.$$

Определим стрелу провеса для провода, не нагруженного гололедом и ветром при  $t = -5^\circ \text{C}$ .

Напряжение в проводе для этого случая

$$\sigma_2 = 1,78 \text{ kg/mm}^2$$

стрела провеса

$$f_2 = \frac{160^2 \cdot 0,00358}{8 \cdot 1,78} = 6,45 \text{ m}.$$

Возьмем случай, когда провод нагружен гололедом 50%, допустим, что нагрузка льдом распределена равномерно по длине провода. Тогда удельная нагрузка от льда будет:

$$0,50 \cdot 0,0141 = 0,00705 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2 \text{ m}}.$$

Нагрузка от собственного веса и гололеда

$$P_5 = 0,00358 + 0,00705 = 0,01063 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2 \text{ m}}.$$

Напряжение в проводе для этого случая

$$\sigma_3 = 5,1 \text{ kg/mm}^2$$

стрела провеса

$$f_3 = \frac{160^2 \cdot 0,01063}{8 \cdot 5,1} = 6,8 \text{ m}.$$

Учтем отклонение одной гирлянды, дающей сокращение пролета на 0,4 м. Длина провода

$$L_0 = l + \frac{8}{3} \frac{f^2}{l} = 160 + \frac{8 \cdot 6,8^2}{3 \cdot 160} = 160,77 \text{ m}.$$

При сокращении пролета на 0,4 м и той же для провода имеем

$$160,77 = 159,6 + \frac{8}{3} \frac{f^2}{159,6},$$

откуда

$$f = 8,3 \text{ m}.$$

Теперь мы имеем все данные для расчета расстояния между проводами.

Случай А. Одна фаза свободна от гололеда, соседняя нагружена гололедом. Принимаем ориентировочное расстояние между проводами в 4 м. Принимаем колебания в скорости ветра для 2 соседних проводов в 4 м/сек.

1. Угол отклонения для провода без гололеда при скорости ветра 28 м/сек будет:

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{0,00517}{0,00358} = 1,42, \quad \alpha_1 = 54^\circ.$$

То же для провода с гололедом при скорости ветра 24 м/сек:

$$\text{tg } \alpha_2 = \frac{0,0135}{0,01768} = 0,76, \quad \alpha_2 = 37^\circ.$$

Следовательно,

$$b_1 = 6,45 \cdot \sin 54^\circ = 5,4 \text{ m}, \\ b_2 = 7,02 \cdot \sin 37^\circ = 4,2 \text{ m}.$$

Принимая допустимое диэлектрически расстояние между фазами  $a = 1,5 \text{ m}$ , получаем расстояние между проводами подвеса

$$A = 1,5 + 5,4 - 4,2 = 2,7 \text{ m}.$$

2. Найдем длительность отклонения для провода без гололеда

$$t_1 = \pi \sqrt{\frac{4}{5} \frac{6,45}{9,81}} = 2,3 \text{ сек.},$$

с гололедом

$$t_2 = \pi \sqrt{\frac{4}{5} \frac{7,02}{9,81}} = 2,4 \text{ сек.}$$

Следовательно, провод без гололеда отклоняется на  $54^\circ$  в течение 2,3 сек., а провод с гололедом в это время отклонится на  $37 \frac{2,3}{2,4} \approx 35^\circ$ . Для этого случая имеем:

$$b_1 = 6,45 \cdot \sin 54^\circ = 5,5 \text{ m}, \\ b_2 = 7,02 \cdot \sin 35^\circ = 4,0 \text{ m}, \\ A = 1,5 + 5,4 - 4,0 = 2,9 \text{ m}.$$

3. Собственные колебания проводов:

Провод без гололеда имеет

$$n_1 = 26,5 \text{ колебания в минуту.}$$

Провод с гололедом имеет

$$n_2 = 25,5 \text{ колебания в минуту.}$$

Провода качаются очень близко к синхронизму. Максимальный сдвиг углов будет на 25 полупериода, когда амплитуды значительно затухнут.

Случай Б. Один провод нагружен гололедом на 50%, одна гирлянда отклонена в сторону рассматриваемого пролета. Средняя фаза оси гололеда свободна. Скорость ветра

$$v_1 = 28 \text{ м/сек.}, \\ v_2 = 24 \text{ м/сек.}$$

1. Углы отклонения:

для провода без гололеда

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{0,00517}{0,00358} = 1,42, \quad \alpha_1 = 54^\circ,$$

для провода с гололедом

$$\text{tg } \alpha_2 = \frac{0,0089}{0,01063} = 0,83, \quad \alpha_2 = 39^\circ.$$

2. Длительность отклонения:

для провода без гололеда

$$t_1 = 2,3 \text{ сек.},$$

для провода с гололедом

$$t_2 = 2,6 \text{ сек.}$$



следовательно, когда провод без гололеда отклонится на  $54^\circ$ , провод с гололедом отклонится на  $39^\circ = 34^\circ$ . Таким образом

$$\begin{aligned} b_1 &= 6,45 \cdot \sin 54^\circ = 5,4 \text{ м} \\ b_2 &= 8,3 \cdot \sin 34^\circ = 4,6 \text{ м} \\ A &= 1,5 + 5,4 - 4,6 = 2,3 \text{ м} \end{aligned}$$

Собственные колебания проводов:

Провод без гололеда

$$n_1 = 26,5 \text{ колебания в минуту.}$$

Провод с гололедом

$$n_2 = 23,5 \text{ колебания в минуту.}$$

Минимальное расстояние между проводами устанавливается на 9-м колебании.

Вычислим таблицу затухания для провода без гололеда:

Логарифмический декремент

$$\lambda = \frac{r}{2K},$$

К — момент инерции,

$$K = \frac{8}{15} \frac{Q}{g} f^2, \\ r = 2,2 \frac{0,06 d L}{1000} \left( \frac{2}{3} f \right)^2,$$

d — диаметр провода (mm), L — длина пролета (m).

Коэффициент 2,2 вводится с учетом сопротивления или жёсткости. Следовательно,

$$\lambda = 0,00055 \frac{dL}{Q} \cdot 1).$$

Для голого провода

$$\lambda = 0,0175 \text{ и } T = 2,3 \text{ сек.}$$

Логарифмический декремент

$$\lambda T \approx 0,04.$$

Вычислим таблицу затуханий по формуле

$$\lg \frac{a_{n-1}}{a_n} = 0,04:$$

Для провода с гололедом:

$$\lambda = 0,00055 \frac{(15,8 + 20) \cdot 160}{0,01063 \cdot 143,5 \cdot 160} = 0,0125; \quad T = 2,6;$$

Число колебаний	Угол отклонения	Число колебаний	Угол отклонения
0	54	6	24
1	49	7	19
2	44	8	14
3	39	9	9
4	34		
5	29		
0	39	6	24
1	36	7	22
2	33	8	20
3	30	9	18
4	28		
5	26		

Логарифмический декремент

$$\lambda T = 0,0325;$$

$$\lg \frac{a_{n-1}}{a_n} = 0,0325.$$

Таким образом на 9-м колебании мы имеем:

$$\frac{\beta_1}{2} = 9^\circ, \quad \frac{\beta_2}{2} = 18^\circ.$$

Положение проводов в момент наибольшего сближения определяется углами:

$$\alpha_1 = 9^\circ$$

и

$$\alpha_2 = \frac{n_1}{n_2} \frac{\beta_2}{2} = \frac{23,5}{26,5} \cdot 18 = 16^\circ.$$

Таким образом

$$\begin{aligned} b_1 &= 4,5 \cdot \sin 9^\circ = 1,0 \text{ м,} \\ b_2 &= 3,3 \cdot \sin 16^\circ = 2,3 \text{ м.} \end{aligned}$$

Расстояние между точками подвеса будет

$$A = 1,5 + 1 + 2,3 = 4,8 \text{ м.}$$

## ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

### Электрооборудование нефте- и бензиноналивных судов

Инж. Шнамерад В. И.  
Харьков

При создании собственного флота, достаточного для удовлетворения нужд нашей промышленности и внешней торговли, необходимо иметь все достижения техники судостроения наиболее передовых стран Европы и Америки.

Особую важность в этом направлении представляют суда, предназначенные для перевозки жидкого топлива, т. е. нефте- и бензиноналивные суда, безопасность плавания которых в весьма значительной степени зависит от степени совершенства их оборудования.

Выбор привода гребных винтов в основном определяется степенью экономичности установки, необходимой маневренной способностью, надежностью действия и мощностью установки.

Наиболее экономичным и распространенным приводом для всех судов за исключением буксирных и судов, от которых требуется высокая маневренная способность, является в настоящее время винтовой привод с непосредственной передачей на винт. Доказательством этого может служить то обстоятельство, что из 199 судов водоизмещением от 6 000 до 15 000 т, построенных и находящихся в постройке в 1930 г. на верфях всего мира, судов с паровым приводом имеется всего 39 шт., т. е. менее 20%.

Дизельэлектрический и турбоэлектрический приводы гребных винтов применяются в настоящее время, главным образом, в тех случаях, когда от судна требуется большая маневренная способ-

ность (нефте- и бензиновозы каботажного плавания, военные суда, буксиры, паромы, рифулеры и пр.) или несколько режимов работы судна как в отношении скорости (главным образом, военные и рефрижераторные суда), так и тягового усилия (буксиры).

С развитием дизелестроения дизельмоторный привод с большим успехом конкурирует с паровым приводом не только в отношении экономичности его, но и в отношении надежности действия. Практика эксплуатации судов с дизельмоторным приводом за последние годы вполне подтвердила эти их преимущества.

Для иллюстрации можно привести много примеров. Очень показательны в этом отношении данные эксплуатации английского бензиновоза „Лихог“ за период с 17 февраля 1930 г. по 17 февраля 1931 г. Это судно грузоподъемностью около 13 000 т, одновинтовое с непосредственным приводом от шестичилиндрового дизеля системы Зудлер мощностью в 3 000 и. л. с. за указанный период совершило дальних рейсов 21 общим протяжением 80 308 морских миль и находилось в движении 324 дня. За все время плавания по причинам, зависящим от главного дизеля (и всего механического оборудования машинного отделения), вынужденных остановок судна было при общей длительности 9,8 часа. По заверениям главного механика этого судна эти показатели отнюдь не являются рекордными для подобного типа судов английского торгового флота.

Отсутствие проверенных данных эксплуатации наших судов лишает, к сожалению, возможности сопоставления здесь аналогичных показателей.

Выбор привода вспомогательных механизмов и устройств в значительной степени зависит от необходимости иметь на судне паровой подогреватель жидкого груза (мазута, нефти), отопления, пожаротушения и пр. и, кроме того, выгоды использования тепла отработанных газов главного и вспомогательных дизелей.

При наличии на судне очень жидкого груза, как бензин, керосин и т. п., необходимость в подогревателе груза отпадает. Отопление (на и отчасти паротушение можно осуществить сравнительно небольшой котельной установкой, приспособленной исключительно для использования тепла отработанных газов дизельных установок, особенно на судах дальнего плавания, для которых и хорошей постановке службы судна на стоянке в портах должна рачиваться незначительная часть времени (на английском теплое „Luhor“ около 11%).

Исходя из вышеприведенных соображений для бензино-и керосиновых судов, как будто нет значительных препятствий к применению исключительно электрического привода всех вспомогательных механизмов. Судя по некоторым сведениям норвежское судно типа американское судостроение и развивается в этом направлении. Новейшие норвежские и шведские суда типа „нефте-и-диновозов“, как „Browig“, „Nice“ и др., и американские „Veedol“ „dewater“ имеют электрический привод всех вспомогательных устройств.

Американские суда типа „Chester Sun“, „Tidewater Assotiated“ и имеют смешанные установки, причем на переходах в море обслуживаются механизмами с электрическим приводом, а на янке — с паровым; последние служат резервными на случай выхода из строя в походе механизмов с электрическим приводом. трех питающих установку агрегатов один агрегат также с паровым приводом.

Такая комбинация привода, хотя полностью и обеспечивающую перебои работы установки, нельзя считать вполне целесообразной вследствие наличия на судне большого количества дублированных вспомогательных механизмов (табл. 1), что должно в значительной степени отразиться на стоимости и весе всего оборудования судна в ущерб его грузоподъемности.

**Вспомогательная таблица вспомогательных механизмов машинного отдела на типичных английских и американских танкерах**

Наименование вспомогательных механизмов машинного отдела	Количество	Производительная мощность	Количество	Производительная мощность
душный компрессор	2	по 160 фут <sup>3</sup> /и	2	по 90 фут <sup>3</sup> /и
вакуум. помпы солен. воды	1	200 т/час	1	185 т/час
„ „ пресн. „	1	114 „	2	158 „
„ „ „	1	100 „	2	15 „
„ „ маслян. „	1	53,5 „	2	40 „
„ „ „	1	30 „	—	—
аппарат подачи горючего	2	20 „	3	40 „
„ „ „	1	10 „	1	—
питательная помпа	1	32,3 „	2	50 „
основная „	3	35 „	4	40 „
основная пожарная помпа	1	130 „	1	158 „
аппарат очистки горючего	1	3 „	1	32 „
„ питания котлов	2	3,6 „	2	—
ИТОГО . . . .	18	—	23	—

Опоставляя качества вспомогательных механизмов машинных установок судов типа „Chester Sun“ (американский) „Luhor“ (английский), приведенные в табл. 1, мы видим, что и количество логичных механизмов на первом типе судов, имеющем двойного а привода (паровой и электрический), превышает таковое на втором типе судов на 5 помп, т. е. на 28%. Если же принять во внимание мнение главного механика судна „Luhor“, что из числа аппаратов на этом судне помп часть является безусловно избыточной (1 т/чумная и 1 для подачи горючего), то эта разница окажется еще более высокой (около 39%).

Одним фактором, отчасти влияющим на выбор привода вспомогательных механизмов и устройств, а также на способы осуществления электрической установки на бензино-и нефтевозах, является мнение в отношении возможности возникновения искробразования в проводке и аппаратах, следствием чего могут быть пожары и взрывы.

Опыт американского бюро Регистра (из доклада представителя Р на 19-м заседании Конгресса безопасности, состоявшемся в Вашингтоне в октябре 1930 г.) показал, что возникновение всех несчастных случаев с подобного рода судами можно отнести за счет: 1) ударов металла по металлу, как-то: столкновения, клепки, жонжирования на палубе в подбитых взрывами сапогах, курения, 3) проникновения газов в камбузы и командные помещения, 4) коротких замыканий в электропроводке (вследствие газе-

ления, плохого контакта в соединениях, разбивания переносных ламп и пр.), 5) атмосферных разрядов.

Удовлетворительное разрешение проблемы безопасности плавания этих судов заключается как в рационально выполненном оборудовании судна, так еще в большей степени в правильном обслуживании судна плавающим составом, где соответствующая дисциплина играет не последнюю роль.

Безопасность плавания такого судна зависит от комплекта условий, главнейшими из которых являются такие, которые направлены на сторону ослабления газообразования, а также удаление выделяющихся газов и паров бензина и нефти.

Все эти условия могут быть в последовательности их важности, грубо классифицированы как нижеследующие:

- 1) устраняющие или ослабляющие испаряемость жидкого груза и выделение газов;
- 2) устраняющие или ослабляющие возможность проникновения паров и газов в жилые и служебные помещения (как машинные, насосные, камбузы, котельные и пр.), а также в места проходов и палубах;
- 3) удаляющие выделяемые пары и газы из мест, представляющих опасность их воспламенения;
- 4) исключающие возможность возникновения искрения или образования вольтовой дуги в местах прохождения или накопления воспламеняющих газов.

Первые два условия в той или иной степени могут быть осуществлены путем разработки соответствующей конструкции корпуса судна и расположения его помещений, а также введением устройств подобных применяемым на вышеупомянутых судах типа „Chester Sun“ и „Tidewater Assotiated“, в кратких чертах изложены выше.

Вследствие того что полное устранение паро- и газообразования едва ли возможно, вопросы вентиляции имеют большое значение тем более, что удаление паров керосина, бензина и пр., имеющие большой удельный вес, чем воздух и газы (этан, метан и пр.), задача нелегко разрешимая.

Трудность заключается в нахождении для каждого частного случая правильного решения в отношении мест расположения приемных и выходных отверстий вентиляционного трубопровода из испорченного, так и свежего воздуха, а также выбора вентиляционных систем, обеспечивающих наряду с безопасностью, достаточную эффективность.

Четвертое условие в некоторой степени может быть отнесено к соблюдению правил внутреннего распорядка на судне (производство работ на палубах и опасных местах, обращение с инструментами, курение и т. п.), а также к качеству и способам осуществления всего электрооборудования судна.

При проектировании электрооборудования такого судна, выборе принадлежности оборудования (машин, пусковой и распределительной аппаратуры) и места его установки, с точки зрения защиты от проникновения газов, а также способов выполнения монтажа необходимо руководствоваться степенью опасности, какую могут представлять то или иное помещение или часть судна.

В этом отношении помещения каждого проектируемого судна в зависимости от предусмотренных мер защиты в отношении газообразования могут быть ориентировочно подразделены на несколько групп.

Более правильная классификация окажется возможной после изучения уже выполненных находящихся в эксплуатации судов, что может способствовать наиболее правильному и целесообразному разрешению вопроса защиты таких судов и рациональному выбору принадлежности и способов электрического оборудования их.

В грубом приближении разбивка помещений по степени представляемой опасности на построенных нефте-и бензиноналивных судах подобных „Luhor“, „Эмбанефть“, „Советская нефть“ и др., может представляться следующей (за исключением танков и коффердамов):

- 1) насосные помещения;
- 2) помещения сухих грузов и кладовых;
- 3) верхняя палуба (в районе танков);
- 4) полукот, полубак и продольный мостик;
- 5) машинные помещения;
- 6) жилые помещения.

Наибольшую опасность представляют помещения, отнесенные к первым трем группам.

В соответствии с этим в помещениях, отнесенных к первым трем группам, прокладку проводов и установку такой аппаратуры, которая может представлять хотя бы малейшую опасность в пожарном отношении, следует считать недопустимыми.

Освещение должно быть выполнено в специальной герметической арматуре такой конструкции, чтобы как подвод питающих проводов, так и смена ламп осуществлялись только вне помещения, в местах находящихся на высоте не менее 2 м над уровнем верхней палубы. Применение переносных ламп для целей освещения таких помещений недопустимо. Выключатели и ответственные или групповые коробки должны помещаться в коридорах (или других помещениях) жилых палуб (т. е. не ниже второй палубы). При осуществлении электромоторного привода помп насосных помещений электропроводы должны быть расположены в отдельных хорошо вентилируемых помещениях. Эти помещения должны быть локализованы от таких помещений, в которых возможно возникновение или накопление воспламеняющихся смесей газов.

Все провода, проходящие над верхней палубой, во избежание повреждений и вследствие этого коротких замыканий, должны быть помещены в газонепроницаемых трубах или желобах, причем на этих проводах, находящихся над танками, не должны применяться никакие соединительные коробки или муфты. Для освещения верхней палубы следует применять по возможности меньшее количество световых точек мощностью от 200 до 500 W, помещенных на мачтах на уровне 6—8 м над верхней палубой. В исключительных случаях могут быть применены также и переносные лампы, особенно надежной герметической конструкции, причем гибкий провод для них должен иметь заземляющую жилу и не иметь металлической оплетки. Штепсельные розетки должны быть герметические и иметь двухполюсные выключатели, заблокированные с вилкой таким образом, чтобы вынуть и вставить вилку было возможно только при разобранном выключателе. Как штепселя, так и выключатели могут быть установлены в коридорах жилых или других относительно безопасных помещений.

Все остальные помещения судна, отнесенные к группам 4, 5 и 6, на условиях осуществления хорошей вентиляции и особенно при наличии на судне устройств, уменьшающих возможность газообразования, как это имеет место на американских судах типа „Chestor“, в пожарном отношении можно считать относительно безопасными. Все вспомогательные устройства, расположенные в таких помещениях, могут быть полностью электрифицированы, причем как приводные моторы, так и аппаратура для них могут применяться защищенного от брызг воды и в отдельных случаях водонепроницаемого типа. Применение герметических моторов и пускозащитной аппаратуры на такого типа судах вообще можно считать нецелесообразным по тем причинам, что все аппараты и моторы для наблюдения за их работой требуют доступа к их основным закрытым частям (коллекторам, щеткам, контактам, выключателям, предохранителям и пр.). При открывании таких аппаратов уплотнение может нарушаться, и полной гарантии, что уплотнение остается в удовлетворительном состоянии, не будет. Исходя из этих соображений, вся аппаратура, нуждающаяся в таких осмотрах (открываниях), на заграничных нефтеналивных

судах применяется открытого или защищенного от проникновения воды типа; и только часть аппаратуры или осветительной арматуры, которая не требует частых открываний, как разветвительные и штепсельные коробки, подпалубные или переносные лампы, поворотные выключатели (на небольшую силу тока) и пр., должна применяться герметического типа.

Групповые коробки освещения защищенного типа с предохранителями типа „Диалед“ следует помещать в коридорах жилых и служебных помещений и машинных отделениях. Плавкие патроны необходимо применять только такого типа, в котором имеются указатели состояния плавкого мостика во избежание ошибочного отвинчивания патрона, находящегося под током, и образования вольтовой дуги при разрыве цепи. Применение герметических ящиков для данного случая можно считать нецелесообразным вследствие того, что без открывания ящика замена главных патронов невозможна.

Выбор величины напряжения для питания электроустановок на нефте- и бензиновых судах находится в зависимости как от существующих международных правил, диктуемых наблюдательными органами (лойдом), так и характером применения электрической энергии на судне.

Согласно правил английского ллойда допустимое напряжение для электроустановок на нефтеналивных судах и бензиновых судах должно быть не выше 110 V. Это напряжение надо считать предельным только в отношении цепи освещения, как наиболее распространенной по всему судну и вследствие этого являющейся наиболее опасной в пожарном отношении.

Для силовых сетей, ограниченных в своем распространении на судне, на заграничных нефте- и бензиновых судах применяется напряжение 220—250 V, а для гребных установок — 500 V, как на бензиновом „Veedol № 2“, построенного в Америке, и даже до 1000 V, как на нефтовозе „Winkler“ построенного в Англии для „Standard Shipping Co“.

1) Редакция ждет отклика от работающих в области электрооборудования судов по вопросам, затронутым в статье и, в частности, по вопросу о величине напряжения для судовых установок.

## Электрическое оборудование на торговых судах

Инж. Н. М. Ковалев  
г. Николаев

Применение электричества на судах нашего коммерческого флота достигло такой степени, что все вспомогательные механизмы приводятся в действие преимущественно электричеством, исключая только главные машины для движения судна, отопление и оборудование камбузов.

Такое широкое применение электричества можно объяснить как непосредственный результат введения нефтяного топлива на судах. Не так давно пар вполне удовлетворял всем потребностям в механическом обслуживании судна, и применение электрического оборудования на судах представляло большие трудности, поскольку к нему предъявляются такие требования, как водонепроницаемость и надежность изоляции и конструкции, простота системы управления, доступной пониманию малоквалифицированного персонала и полная надежность ее. Из иностранной литературы и личного осмотра некоторых заграничных судов можно заключить, что конструкторская мысль и исследования за границей приблизились к такому совершенству электрического оборудования, которая вполне удовлетворяет этим требованиям.

1. Рулевое устройство. Управление рулевым устройством на всех судах осуществляется по системе Вард-Леонарда, исключая незначительное число судов с рулевым устройством контакторного типа. Система Вард-Леонарда благодаря своей гибкости управления соответствует паровой. Эта система, правда, требует дополнительной установки трех машин.

На рис. 1. показана схема управления по системе Вард-Леонарда рулевого и брашпильного устройств. Агрегат Вард-Леонарда применяется у нас обычного типа, описание которого мы опускаем, предполагая, что оно знакомо читателю.

На ином принципе построена схема электрорулевого устройства, представленная на рис. 2. Схема разработана фирмой AEG.

Система эта состоит из агрегата Вард-Леонарда с возбуждателем генератора, рабочего электромотора, датчика и приемника рулевого указателя, второй из которых соединен с рулевым механизмом. Предусмотрен самостоятельный возбуждатель генератора, напряжение которого изменяется по величине и направлению с помощью возбуждателя. При отсутствии тока в обмотке возбуждателя разность потенциалов на зажимах генератора равна нулю, и рабочий электромотор стоит, но как только ток начинает проходить по обмотке возбуждения, на зажимах генератора появляется напряжение, зависящее по величине и направлению от силы тока возбуждения, и регулирует соответственно скорость и направление вращения рабочего электромотора.

Изменение силы тока возбуждения генератора Вард-Леонарда и управления его с доведением возбуждения до нуля, как только

руль станет в нужное положение, достигается благодаря применяемой особой конструкции датчика и приемника рулевого указателя. Датчик снабжен подвижной контактной шиной, имеющей с

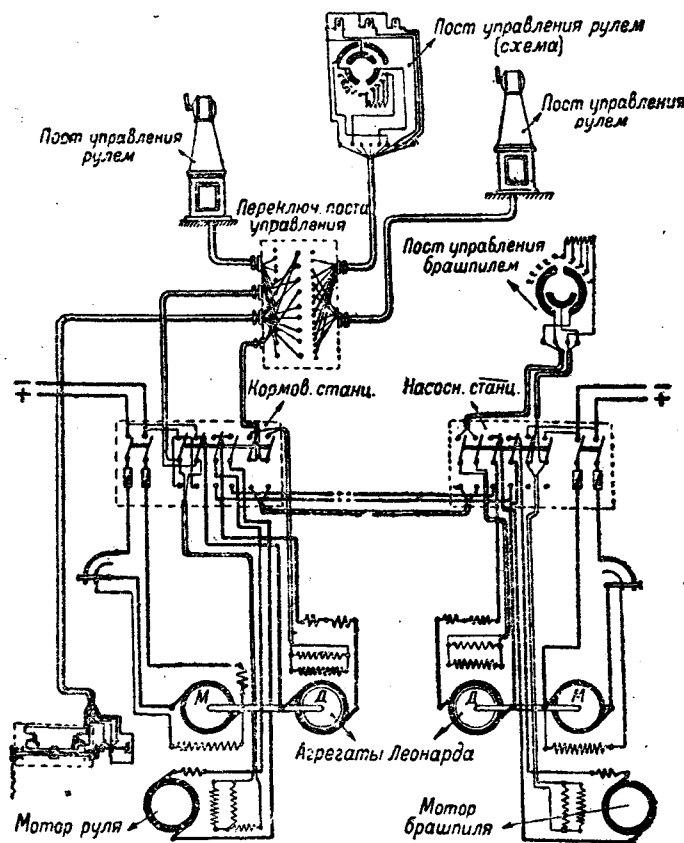


рис. 1. Схема электрического рулевого и брашпильного управления по системе Вард-Леонарда

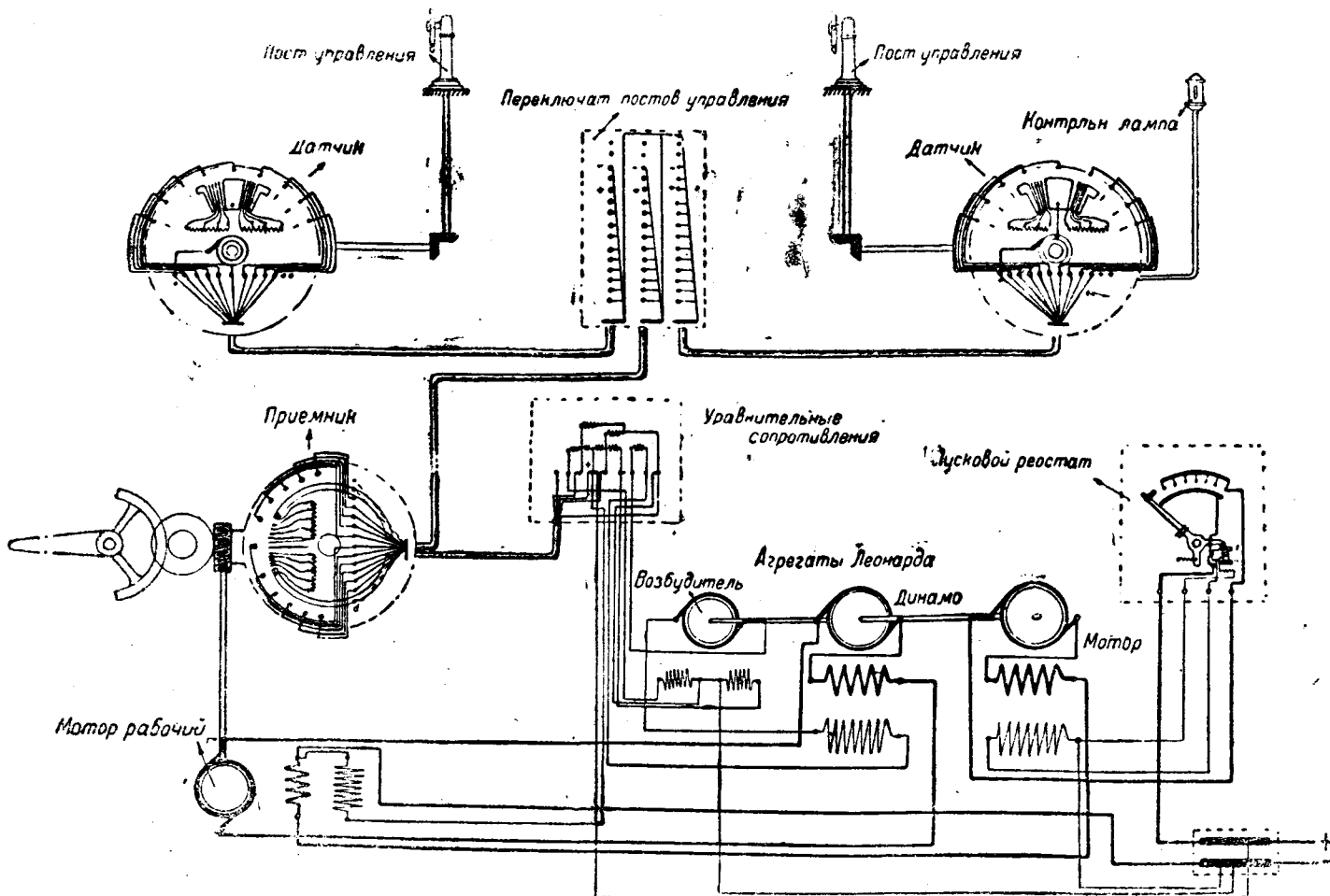


Рис. 2. Схема электрического рулевого управления по системе AEG

ой стороны четыре ступени сопротивления. Имеются непонятные щетки, каждая из которых соединена отдельным проводником соответствующей щеткой приемника. Последний снабжен двумя подвижными контактными шинами, изолированными друг от друга и имеющими по четыре ступени сопротивления на каждой, одинаковые с сопротивлением датчика.

Контактные шины приемника присоединены к шунтовым обмоткам возбuditеля, имеющим одинаковое число витков и одинаковое сопротивление. Когда обмотки питаются током равной величины, создают поле одинаковое по величине, но противоположное по направлению. Таким образом величина и направление действующей силы возбуждения, а следовательно, возбуждение генератора, а следовательно и скорость и направление вращения рабочего электромотора

зависят от разности величины тока в этих двух обмотках. Штурвал датчика можно по желанию вращать вправо или влево и оставлять в любом положении, так как сопротивления у датчика и приемника устроены так, что уравнивают друг друга, и тогда рабочий электромотор останавливается, а руль занимает соответственно этому определенное положение. Несовпадение показаний датчика и приемника, которое может вызвать отставание или отклонение положения руля по сравнению с положением ручного штурвала, невозможно, а поэтому при системе AEG отдельные механические или электрические указатели положения руля (аксиометры) излишни.

Относительно конструкции датчика и приемника необходимо отметить, что они помещаются в прочных, водонепроницаемых корпусах удобных для обслуживания размеров. Медные неподвижные щетки и контактные шины монтированы очень тщательно; в качестве изоляции применен миканит. Все соединительные части на подвижных частях паяные; винтовые контакты не применяются во избежание самоотвинчивания и могущего быть из-за этого повреждения или отказа от работы прибора. Привод датчика осуществлен при помощи червячной и зубчатой передач. Последняя конструкция датчика уже не выделяется самостоятельно от поста управления, а комбинируется вместе и представляет компактный пост управления.

По сведениям фирм наибольшее отклонение судна от курса в среднем составляет  $\pm 0,6^\circ$ , в то время как при системе с сервомотором это отклонение достигает до  $\pm 2,5^\circ$  и больше.

Не безинтересно отметить применение аналогичной системы управления для паровых и электрогидравлических рулевых устройств. Схема рис. 3 показывает принцип работы парового рулевого устройства с дистанционным управлением по этой системе.

Управление состоит из электромотора для регулирования (управляемый) мощностью около 0,8 л. с. (1400 об/мин), агрегата Вара-Леонарда около 1+1,15 л. с., датчика на мостике, приемника у рулевого механизма и ограничителя хода руля.

Агрегат Вара-Леонарда помещается в одном корпусе в исполнении горизонтальном или вертикальном (в зависимости от местных судовых условий). Конструкция очень компактная и удобная для обслуживания. Принцип регулирования подачи пара, работы паровой машины рулевого устройства, производится посредством электромотора а, соединенного с валом при помощи червячной передачи и с приемником с — механически, помощью фрикционных муфт (дисков). На одном из концов вала имеется полное четырехгранное утолщение для приведения в движение вала, действующего на рычаг и последнего уже на поршень распределителя пара. С изменением положения этого поршня изменяется и питание паровой

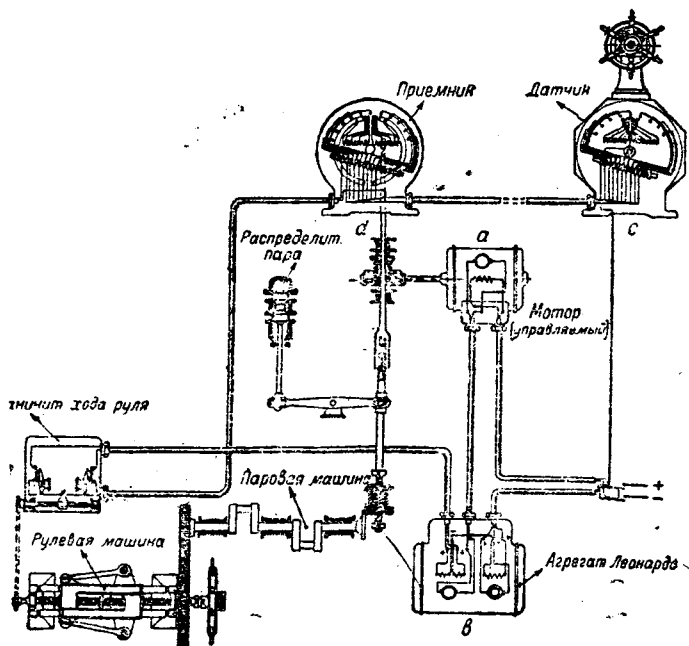


Схема парового рулевого устройства с электрическим управлением системы AEG

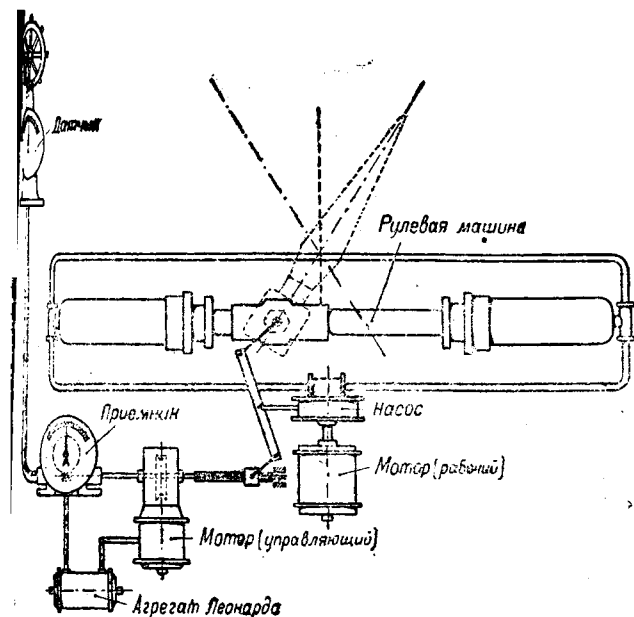


Рис. 4. Схема электрогидравлического рулевого устройства с электрическим управлением системы АЕГ

ны, а равно и скорость перекачки руля. Движение колесика руля передается на колесо, благодаря которому роульеры пары возвращается в первоначальное положение (среднее). Наличие в схеме ограничителя хода руля предупреждает устройство от механических повреждений при крайних положениях на борту. Разрыв контактов ограничителем хода в цепи одной обмотки возбуждения генератора Вард-Леонарда в зависимости от того, в каком направлении происходит перекачка руля, прекращает питание электромотора, и вся система управления останавливается. Простота и удобство управления очевидны.

Схема рис. 4 показывает применение такой же системы, но для электрогидравлического типа рулевого устройства. В этой комбинации в одном направлении для приведения в действие насоса, увеличивающего из одного цилиндра в другой и изменяющего в них давление в зависимости от того, в каком направлении необходимо сделать перекачку руля. Управление производится механически паровой или электрической рулевой установкой.

Для смягчения слишком сильных ударов волны на перо руля между цилиндрами специальная перепускная труба. При управлении мотором требуется значительно больше тщательности в выполнении монтажа, поскольку наличие трубопровода от типа до рулевого механизма уже не может гарантировать той же точности и относительной точности в действии управления, как в описанной выше системе. Как общий недостаток этого типа рулевого устройства надо признать автоматичность перекачки руля вследствие неплотностей в цилиндрах насоса и в трубопроводах, а также произвольное отклонение судна от курса.

Шпильковые устройства. Для приведения в действие шпильковых устройств на судне применяется две системы: система

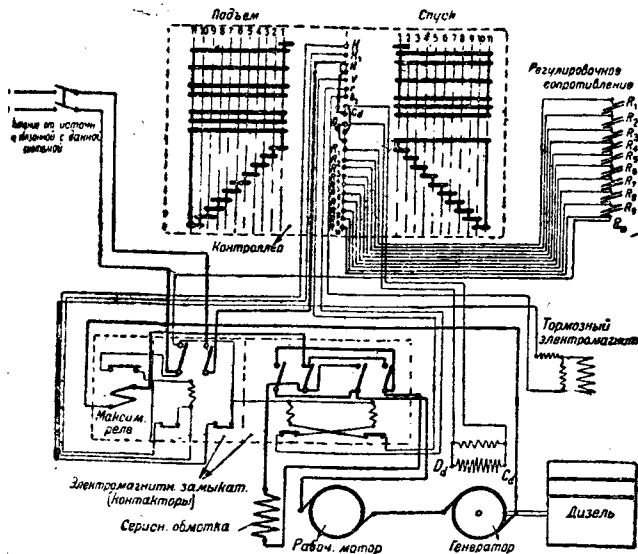


Рис. 5. Схема управления якорной лебедкой по системе Вард-Леонарда с серийным мотором

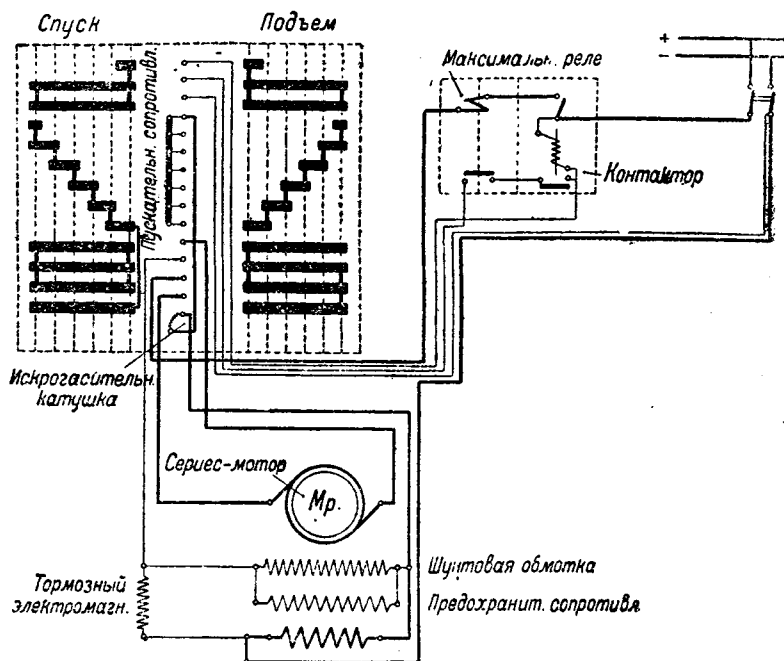


Рис. 6. Схема электрического управления шпилькового устройства

Вард-Леонарда и контакторно-контроллерная. Мотор в этой системе применяется с характеристикой, приближающейся к серийной. Схема управления брашпильного устройства по системе Леонарда представлена на рис. 1.

На некоторых судах применено управление якорной лебедкой по системе Вард-Леонарда с серийным мотором. На рис. 5 представлена схема такого управления якорной лебедкой с контроллером контакторами для переключения серийных обмоток электромотора, питающегося от компаундного генератора, работающего нормально на судовую сеть. Для защиты от перегрузки мотора в установке предусмотрено реле максимального тока.

На рис. 6 представлена схема контакторно-контроллерного управления шпилькового устройства.

Система Вард-Леонарда для управления якорной лебедкой является самой приемлемой с точки зрения требований, предъявляемых к этому устройству (плавность работы, широкая регулировка скорости и др.). Недостатком схемы являются довольно значительные размеры агрегата Вард-Леонарда, увеличивающего стоимость оборудования и требующего для установки под палубой много места и специального помещения.

Системой, не обладающей этими недостатками и имеющей преимущество перед системой Вард-Леонарда, является так называемая „booster-Control“ (буферная система) (рис. 7).

Схема представляет видоизмененную систему Вард-Леонарда. Буферная система не так давно была разработана фирмой Кларк Чапман Ко (Clarke Chapman Co) и применена на судовых палубных механизмах. Быстрое ее распространение объясняется техническими преимуществами ее и низкой первоначальной стоимостью. Рабочий электромотор мало отличается от нормального за исключением обмотки, которую легко можно изменить в соответствии с напряжением. Ток для рабочего электромотора подводится от судовой сети. Этот генератор при холостом ходе дает напряжение, равное

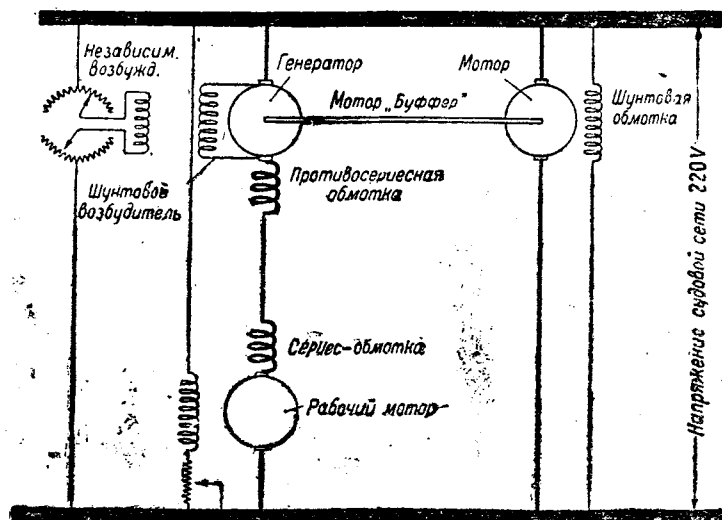


Рис. 7. Принципиальная схема буферной системы

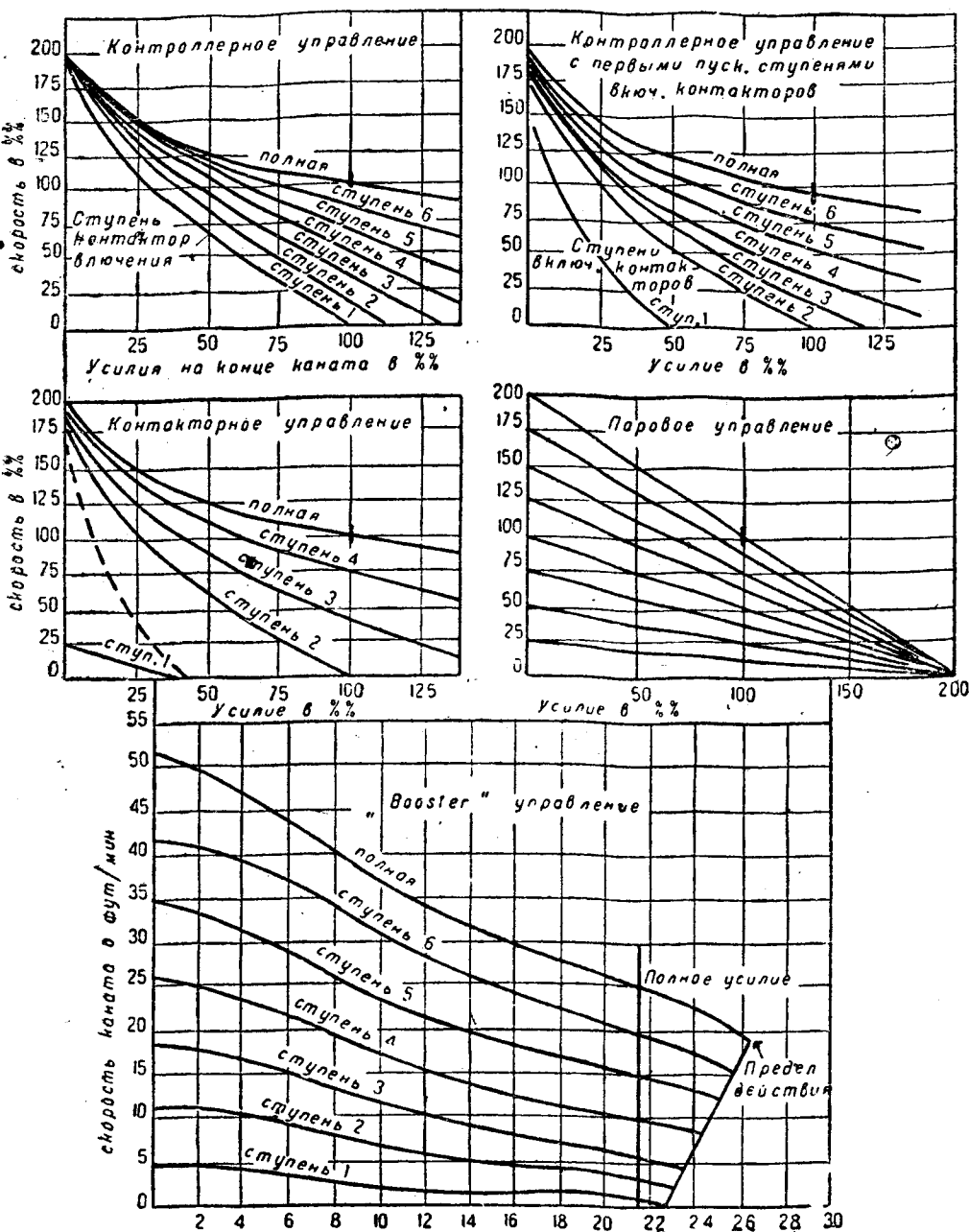


Рис. 8. Зависимость скорости от тягового усилия различных систем электрического управления

напряжению судовой сети и приводится в действие при помощи шунтового мотора, получающего питание непосредственно от судовой сети. Агрегат в этом случае подобен такому же в системе Вард-Леонарда, но значительно меньших размеров. Генератор в этой системе действует как буфер, а поэтому к рабочему электромотору может быть приложено напряжение от нуля до двойного в зависимости от того, действует ли генератор как положительный или как отрицательный буфер по отношению к напряжению судовой сети. Возбуждение генератора может регулироваться шунтовым реостатом (постом управления), изменяя тем самым напряжение, подводимое к рабочему электромотору. Практикой установлено, что совершенно достаточно для управления палубными механизмами 6 или 7 ступеней сопротивления шунтового реостата. Результатом влияния обмоток, указанных на схеме рис. 7, регулируемого независимого возбуждения генератора создается напряжение, подводимое к рабочему мотору, уменьшающееся при увеличении нагрузки, и только наличие сериес-характеристики рабочего электромотора дает возможность получать постоянную кривую скорости при очень больших нагрузках. Благодаря различным комбинациям этих обмоток может быть получена почти любая кривая характеристики, не исключая даже и случаев перегрузки на 50%. Это устройство может быть подсчитано так, что сможет дать меньше чем 10% скорости при полной нагрузке, стремящейся к полному усилию на канате уже на первой ступени скорости. Диаграммы рис. 8 кривых усилий и скорости для разного типа управлений дают наглядное представление о том, какой из способов управления и системы более всего подходит к характеристике работы парового устройства.

Важная черта «буфер-системы» та, что на нее не влияют никакие внезапные толчки тока сети, и максимальная сила тока

никогда не превышает полной нагрузки да устройства, так как мощность, забираемая от пропорциональна работе, что невыполнимо контакторной и контроллерной системах, где мощность пропорциональна углу на валу рабочего электромотора. В случае, требуется быстрое переключение устройства положения «выключено» к «полному», никаких толчков тока также не наблюдается.

Для того чтобы предупредить автоматическое устройство от чрезмерных перегрузок, специально включается в цепь рабочего электромотора, действующее под влиянием сериес-обмотки. Это реле при перегрузке устанавливает контакт у регулируемой обмотки возбуждения генератора в первоначальное положение управления. Реле действует на любой ступени управления. Но как только натяжение вновь становится малым, реле включается, и устройство снова приходит в действие. При этом также не бывает внезапного броска тока, поскольку изменение силы тока в цепи возбуждения происходит медленно.

Выдающиеся преимущества этой системы управления те, что при установке самостоятельного агрегата последний может быть взят значительно меньших размеров (примерно в два раза системы Вард-Леонарда) и, кроме того, под нагрузкой генератора развивает относительно меньший ток напряжения. Мощность, требующаяся при этой системе управления, меньше. Следовательно, первоначальная стоимость будет ниже, в сравнении с контакторным управлением обычных систем, она правда будет стоить дороже на 11-15%. Этот излишек стоимости оправдывается экономичной работой в эксплуатации и управляемостью, которые достигаются «буфер-системой» как при подъеме якорей, так и при их опускании. Введение этой системы управления на наших судах было бы весьма необходимо.

3. Грузовые лебедки. Контакторно-контроллерное управление грузовых лебедок получило наибольшее распространение. Управление состоит из автоматически действующих контакторов, приводящихся в действие от небольшого контроллера, установленного у лебедки или на более удобном месте. На случай выключения тока на остановку груза на весу лебедка снабжена электромагнитным и механическим (ножным) тормозами. Наиболее существенным недостатком этой системы управления лебедки является ограниченность при малых нагрузках необходимо включать дополнительную шунтовую обмотку для предотвращения разноса мотора. При опуске же тяжелого груза скорость на первой ступени контроллера достигает чрезмерной величины и создает опасность как для груза, так и для всей установки. Некоторые лебедки защищаются поэтому центробежными тормозами или

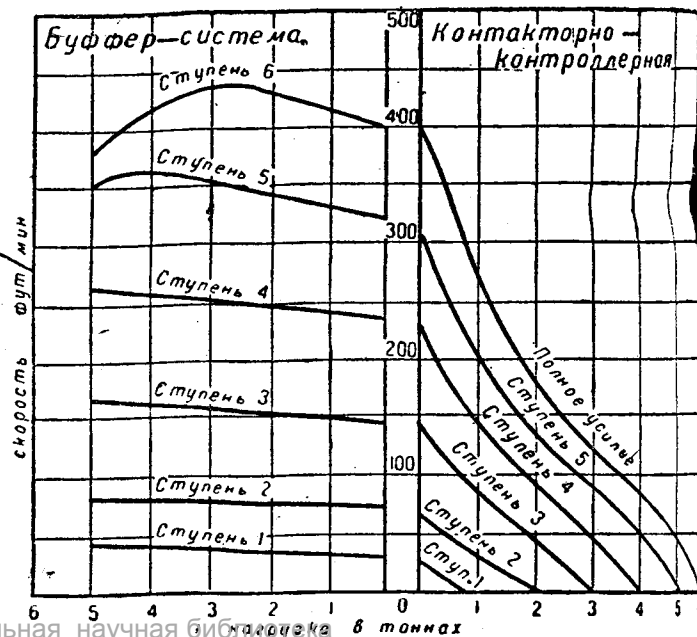


Рис. 9. Зависимость скорости от усилия



якорем, рассчитанным на максимально возможную скорость. Буферная система успешно применяется за границей, и, как видно из диаграммы рис. 9, работа грузовой лебедки по этой системе действительно обеспечивает совершенное управление и торможение груза при спуске. Каждая ступень дает определенную скорость. Подъем груза может быть быстро ускорен, затем замедлен до самой минимальной скорости и оставлен без каких-либо толчков. Действие этой лебедки замечательно тем, что потребовалась мощность пропорциональна работе, каковая бы ступень управления была применена. Большой груз может быть поднят с очень малой скоростью и с очень малым током. В то же время контакторно-реостатное управление требует полного тока при подъеме груза при малых скоростях, что вызывает потерю мощности в сопротивлении.

Преимущества этого управления лебедки очевидны, и необходимо дальнейшим конструированием грузовых лебедок на наших заводах устранить недостатки применяемой на судах системы и выявить дополнительные исследования, поставленными непосредственно на наших судах. Грузовые лебедки изготовления завода „Дин“ заслуживают особого внимания.

\*\*

Конструкция палубных электромеханизмов требует особенно тщательного рассмотрения, имея в виду место установки и расположение, влияние морской воды и погоды.

## РАБОТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИНСТИТУТОВ

# Скорость распространения кругового огня по коллектору

Инж. А. И. Москвитин  
Москва, ВЭИ

Настоящая работа, произведенная в машинной лаборатории ВЭИ под руководством акад. К. И. Шенфера, имеет целью определить скорость распространения кругового огня по коллектору. Этот вопрос весьма важен, во-первых, для отыскания очага кругового огня — места его возникновения, и, во-вторых, для регулировки времени защитных быстродействующих выключателей.

## 1. Метод исследования

Явление происходит настолько быстро, что при наблюдении его на-глаз кажется, будто круговой огонь одновременно вспыхивает на всей поверхности коллектора. Такое представление, однако, может привести к ряду неверных выводов. Можно определенно сказать, что некоторые прежние теории кругового огня основаны именно на таком представлении о круговом огне, как о мгновенном явлении, и исходят из наблюдения его наглаз.

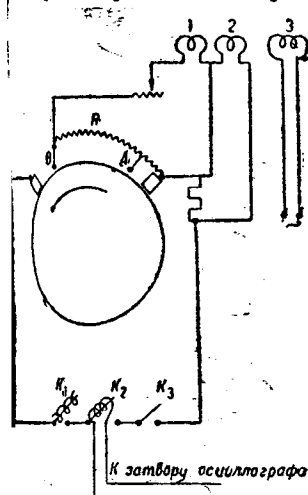


Рис. 1

Для объективного исследования нами был применен метод зондов, предложенный акад. Шенфером и несколько видоизмененный автором настоящего сообщения. Сущность этого метода состоит в следующем.

На коллекторе машины (рис. 1) были поставлены два „зонда“ А и В, т. е. два проводника, расположенные вдоль поверхности коллектора в осевом направлении на расстоянии 2 мм от него и присоединенные к большому омическому сопротивлению  $r$  (2500  $\Omega$ ). Концы сопротивлений присоединены к щлейфу осциллографа 1. Когда дуга, распространяясь по коллектору, доходит до зонда а и замыкает воздушный зазор, на щлейфах сопротивления  $r$  появляется напряжение. Щлейф 1

Абсолютная водонепроницаемость этих устройств фактически невозможна, поскольку непосредственное просачивание воды, а также конденсация неизбежна. Конденсация приписывается „отпотеванию“ являющемуся как результат расширения и сокращения воздуха внутри машины. Опыты, проведенные за границей на многих электромоторах лебедок, показали, что за неделю при резкой разнице температуры днем и ночью конденсируется около полквартиры воды. Против „отпотевания“ полезно применение малых вентиляторов. Опыт показал, что только действительно надежная изоляция, как, например, миканитовая, может обеспечить водонепроницаемость обмотки. Многие заграничные фирмы применяют „компаунд“ и находят, что он противостоит морским условиям и влиянию соленой воды, но опыт показывает, что эти изоляционные „компаунды“ все реже и реже встречаются на борту судна, где имеется возможность влияния морского влажного воздуха или пара. Изоляция должна быть высшего качества, противосырьевой, чтобы можно было обеспечить удовлетворительную работу устройства и продолжительность его службы. Конструкция должна удовлетворять условиям водонепроницаемости, противостоять ударам волны и иметь хорошую смазку трущихся частей при наклонных положениях механизмов во время качки судна и легкий доступ и контроль к ответственным частям при обслуживании.

делает первый бросок. Когда дуга доходит до зонда б, щлейф делает второй бросок, и таким образом осциллограмма должна принять характерный ступенчатый вид.

Посредством щлейфа 3, приключенного к 50-периодной сети, измерялся масштаб времен; таким образом можно было сравнить скорость распространения дуги по коллектору с окружной скоростью коллектора.

Щлейф 2 измерял силу тока.

Самый круговой огонь получался при полном коротком замыкании машины посредством автомата  $K_2$ , замыкающего цепь в тот момент, когда открывается затвор осциллографа (рубильники  $K_3$  и  $K_1$  предварительно замкнуты). При коротком замыкании действовал максимальный автомат  $K_1$  (ток 250 А =  $7I_n$ ); после разрыва им цепи явление прекращалось.

## 2. Осциллограммы

Полученные осциллограммы представлены на рис. 2. Здесь верхняя синусоида — масштаб времени (50 пер/сек). Средняя кривая — напряжение на зондах. Нижняя кривая — сила тока. Начало короткого замыкания лежит в точке о, конец выходит за пределы осциллограммы. Кривая напряжения на зондах соответствует предположениям. Первый бросок а означает, что дуга дошла до зонда а и второй — до зонда б. Как видно, расстояние  $ab = 54$  мм; круговой огонь проходит в 0,195 периода. Сравним эту скорость с окружной скоростью коллектора.

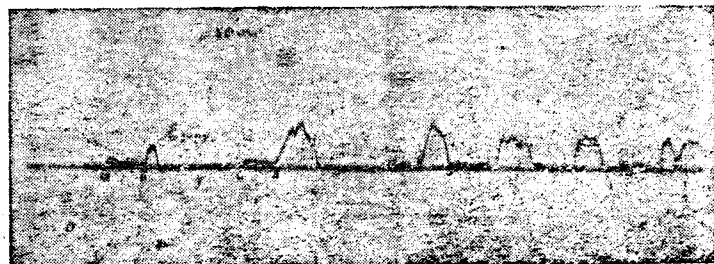


Рис. 2

на расстоянии 2 мм от него и присоединенные к большому омическому сопротивлению  $r$  (2500  $\Omega$ ). Концы сопротивлений присоединены к щлейфу осциллографа 1. Когда дуга, распространяясь по коллектору, доходит до зонда а и замыкает воздушный зазор, на щлейфах сопротивления  $r$  появляется напряжение. Щлейф 1



Испытуемая машина—4-полюсная и сидит на одном валу с 4-полюсным асинхронным мотором. Следовательно, за 1 период пластина коллектора проходит 2 полюсных деления, что в испытательной машине составляет  $2\tau_k = 272 \text{ мм}$ . Соответственно расстояние  $ab$  между зондами пластина коллектора проходит в  $\frac{54}{272} = 0,198$  периода.

Результаты опыта показывают, что круговой огонь распространяется по коллектору со скоростью, равной окружной скорости коллектора.

Эти результаты не сходятся с результатами опытов А. Сohn<sup>1)</sup>, исследовавшего это явление при помощи лампы времени и нашедшего, что стоимость распространения кругового огня примерно вдвое меньше окружной скорости коллектора.

Многочисленные осциллограммы, снятые нами и не приводимые здесь за недостатком места, все показывают то же, что рис. 2.

Осциллограмма рис. 2 наглядно показывает также чрезвычайно интересное явление. Как видно из средней кривой, напряжение на зондах то появляется, то исчезает, т. е. дуга не все время от начала и до конца которого замыкание держится на коллекторе, а периодически то вспыхивает, то гаснет.

### 3. Заключение

1. Данные исследования позволяют нарисовать физическую картину кругового огня в следующем виде. Круговой огонь представляет собою дугу, образующуюся при разрыве контакта между сбегавшей пластиной края щетки. На коллекторе образуется катодное пятно, которое растягивает за собой дугу. Как только катодное пятно доходит до щетки, противоположной полярности, машина замыкается накоротко через дугу. Таким образом внешняя цепь оказывается зашунтированной круговым огнем, и ток во внешней цепи падает. Как только это случилось, исчезает очаг кругового огня—искрение под щеткой—и дуга гаснет. После этого ток во внешней цепи возрастает, снова начинается искрение под щеткой, переходящее в круговой огонь и явление снова повторяется.

2. Очаг кругового огня, место его возникновения находится у щетки. Для уничтожения кругового огня необходимо прежде всего уничтожить искрение щетки.

3. Скорость распространения кругового огня равна окружной скорости коллектора. Быстродействующий автомат должен выключать цепь скорей, чем пластина коллектора пройдет одно полюсное деление по коллектору.

## К вопросу об изоляции трансформаторным маслом при высоких напряжениях

Инж. А. В. Панов и инж. П. В. Борисоглебский  
Москва, ВЭИ

Несмотря на длительное повсеместное применение изолирующих масел в качестве высоковольтной изоляции в трансформаторах, аппаратах, кабелях, вводах и пр., обследование и знание в области диэлектрической прочности масла находятся в зачаточном состоянии. К настоящему времени с определенностью установлена лишь качественная сторона значительного влияния на электрическую прочность масла всевозможных факторов: температуры, давления, влажности, механических при-

месей, формы электродов, частоты и формы кривой напряжения; наоборот, к счастью, мало влияет сор масла, т. е. фактор, определяемый молекулярной структурой. Не существует теории пробоя масла, позволяющей сделать расчет пробивной крепости масляных расстояний, учитывающей хотя бы главнейшие влияющие факторы и описывающей согласно с данными эксперимента механизм пробоя масла. Поэтому к настоящему времени при расчете масляной изоляции приходится основываться исключительно на экспериментальном материале.

В настоящей статье приводится ряд основных положений об изоляции масла технической чистоты, являющихся выборкой из систематических работ по данному вопросу, ведущихся в отделе высоких напряжений ВЭИ для трансформаторного завода Электрокомбината.

Нужно различать четыре основных вида изоляции масла:

- 1) изоляция чистым масляным промежутком при голых электродах;
- 2) изоляция масляным промежутком с барьером из твердого диэлектрика;
- 3) изоляция чистым масляным промежутком с электродами, покрытыми твердым изоляционным материалом;
- 4) изоляция маслом с возможностью разряда в пограничном слое масла с поверхностью твердого диэлектрика.

Ниже речь идет об изоляции маслом первого вида и приводятся данные о влиянии на электрическую прочность масла времени приложения напряжения, качества масла (определяемого по нормам), температуры, давления и формы электродов.

Влияние перечисленных факторов кроме давления и формы электродов исследовалось для одного расстояния при граничных формах электрода «острие-плоскость» и «шар-плоскость». Исследование производилось

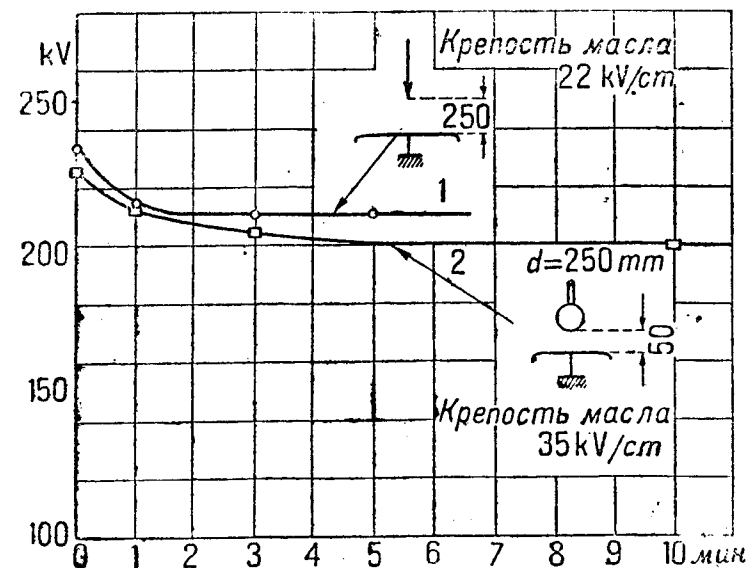


Рис. 1. Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от времени выдержки напряжения при 50 пер/сек. Температура масла 20°С. Точки на кривой 1—средние значения из 15 пробоев; на кривой 2—средние из 50 пробоев

1) „AEG Mitteilungen“, 1930, стр. 130—140.



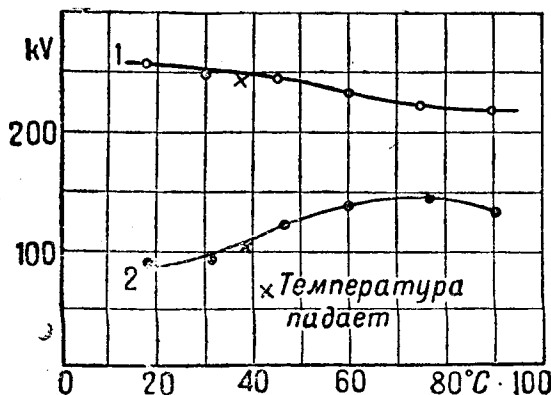


Рис. 5. Зависимость пробивного напряжения и напряжения короны от температуры при 50 пер/сек (по Metropolitan-Vickers). Кривая 1 — напряжение пробоя; кривая 2 — напряжение короны

### Зависимость от температуры

Зависимость для напряжения нормальной частоты представлена на рис. 4. Для коронирующих электродов отмечается слабое снижение электрической крепости трансформаторного масла от температуры; при повышении температуры от 20 до 90°C понижение не превосходит 11%. Наоборот, при некоронирующих электродах наблюдаются значительный рост электрической крепости до температуры 60°C и падение таковой при дальнейшем увеличении температуры. Подобная зависимость отмечалась многими авторами при работах с физически чистым маслом и малыми промежутками (при более или менее равномерных полях). Надо полагать, что такая же зависимость будет наблюдаться и для напряжения короны при коронирующих электродах, что подтверждается, например, данными Metropolitan-Vickers (рис. 5). Разброс с увеличением температуры несколько уменьшается для обеих форм электродов. Импульсная крепость мало зависит от температуры, имея все же некоторую тенденцию к понижению с увеличением температуры.

### Зависимость от давления

На рис. 6 представлена зависимость пробивного напряжения масла для электродов „острие-плоскость“ при напряжении нормальной частоты для расстояний 25, 50, 75 мм до давления 6 кг/см<sup>2</sup>. Отмечается значительное повышение пробивного напряжения.

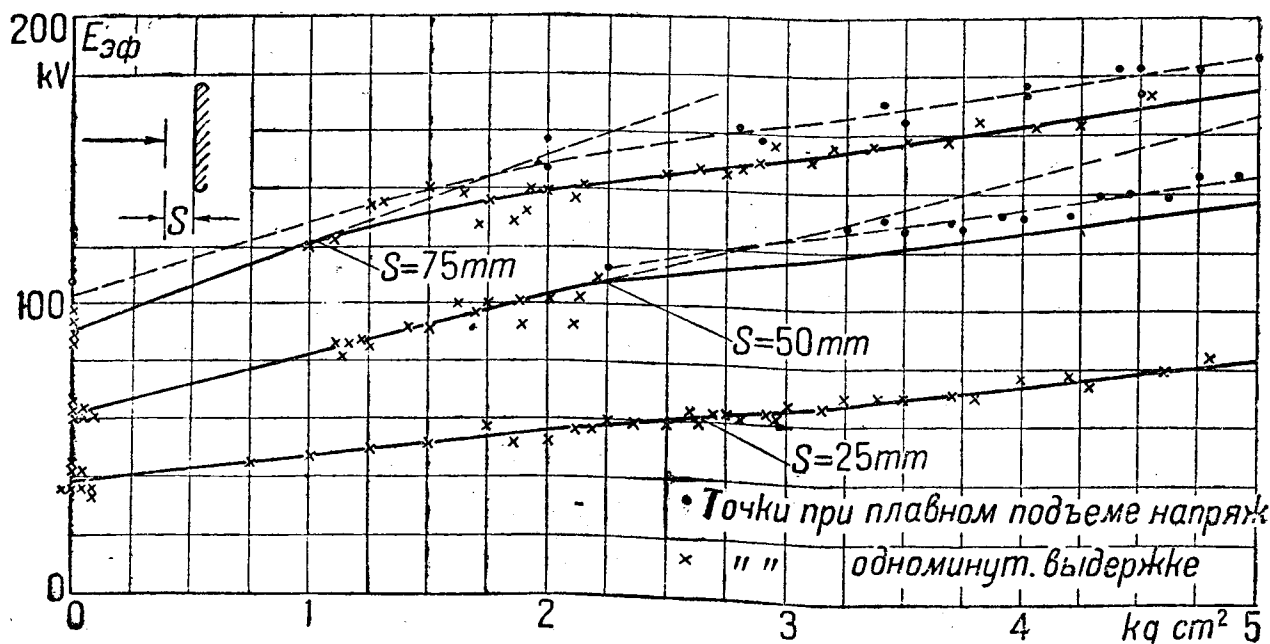


Рис. 6. Зависимость крепости трансформаторного масла от давления при 50 пер/сек. Температура  $t \approx 20^\circ\text{C}$ . Качество масла 22 kV на 2,5 мм

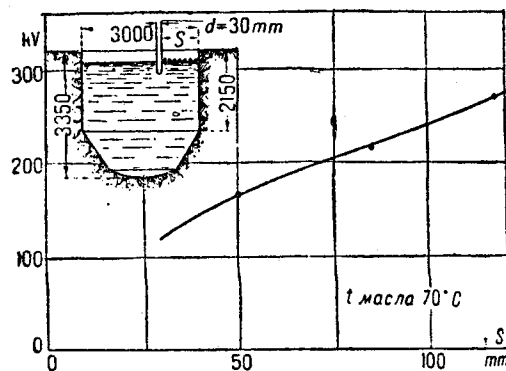


Рис. 7. Зависимость напряжения перекрытия по поверхности от расстояния при 50 пер/сек. Температура масла  $t \approx 70^\circ\text{C}$

### Пробивное напряжение трансформаторного масла различных форм электродов

Испытательное устройство и аппаратура. Исследования производились в масляном баке диаметром 3 м и объемом около 20 м<sup>3</sup> (рис. 7); трансформаторное масло бака фильтровалось помощью фильпрессы и доводилось до той или иной крепости путем многократной перегонки через фильпрессы при частой смене бумаги или путем нагрева масляной. Определение электрической крепости масла производилось нормальным разрядником (диски диаметром 25 мм с закругленными краями при расстоянии 2,5 мм помещаемым непосредственно в испытательный бак и ту глубину, на какой производились испытания.

Для производства опытов при напряжении до  $E_{эф} = 500\text{ kV}$  потребовалось устройство соответствующего ввода в бак, так как диаметр бака без ввода позволял работать лишь до 250 kV ввиду очень низких значений напряжений перекрытия по поверхности масла (рис. 7). Ввод был выполнен в виде нескольких концентрических бакелитовых цилиндров.

Высокое напряжение при 50 пер/сек получали каскадного трансформатора SSW, 1 000 kV, мощность 1 000 kVA. Регулировка напряжения производилась путем изменения возбуждения питающего трансформатора генератора. В качестве меры защиты трансформатора против перенапряжений, возникающих при разрядах в масле (каковые перенапряжения бывают знач

сильнее, нежели при разрядах в воздухе), следовательно с объектом включалось водяное демпфирующее сопротивление около  $300\,000\ \Omega$ .

При импульсных испытаниях в качестве генераторов применялся контур, собранный по схеме Маркса из групп конденсаторов емкостью по  $0,02\ \mu\text{F}$  каждая.

Для измерения напряжения как при испытаниях нормальной частоты, так и импульсных употреблялся шаровой разрядник с диаметром шаров  $1\ \text{м}$ . Регулировка импульсного контура производилась путем изменения напряжения питающего трансформатора и регулировки питающих разрядников. Для получения волны импульсной определенной длины применялись проволочные безиндукционные сопротивления.

ло, делалось  $5\div 10$  опытов для каждой точки, для контрольных же точек и для особо важных случаев делалось по 30 опытов для определения средней величины пробивного напряжения и величины разброса (отклонения от средней величины отдельных значений пробивных напряжений). За величину пробивного напряжения бралась средняя арифметическая.

При импульсных испытаниях применялся ступенчатый 10-ударный метод подвода напряжения. Разница между ступенями напряжения бралась в пределах  $10\div 5\%$ . Напряжение определялось методом градуировки вольтметра в первичной цепи трансформатора, питающего контур, шаровым разрядником, включенным параллельно испытываемому объекту. Пробивным напряжением считалось то, при котором хотя бы один из 10 ударов

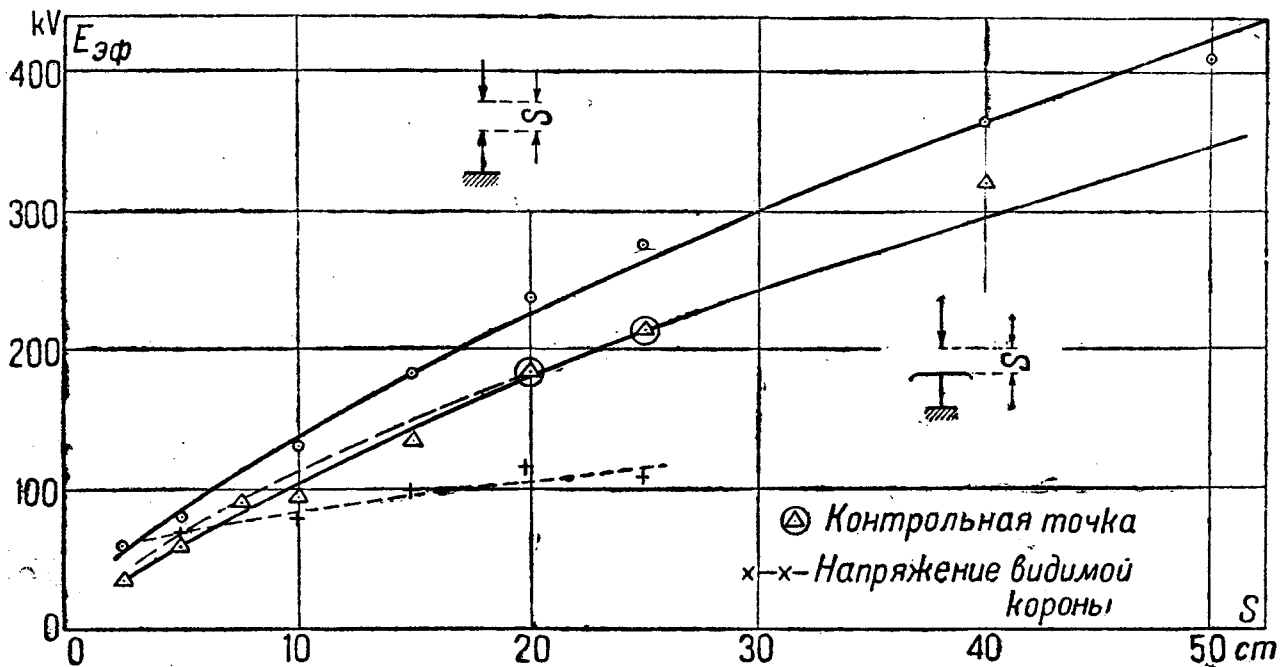


рис. 1. Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от расстояния при 50 пер/сек. Температура масла  $t \approx 20^\circ\text{C}$

ке виды испытаний производились в холодном масле при температуре  $15\div 20^\circ\text{C}$ .

Электроды закреплялись тем или иным путем на изоляционных материалах, материалом которых являлись бакелитовые стержни, дерево, эбонитовые стержни и пр. Из затруднений при устройстве моделей при испытаниях при напряжениях свыше  $250\div 300\ \text{kV}$  следует отметить необходимость устройств очень больших размеров для измерения поверхностных разрядов по модели.

Методика. При опытах с напряжением нормальной частоты применялся ступенчатый подъем напряжения с минутной выдержкой на каждой ступени. Основанием для принятия данного метода за основной ясно из предыдущих опытов (рис. 1).

Переход с одной ступени напряжения на другую производился плавным подъемом напряжения со скоростью около  $2\ \text{kV}\ \text{сек}$  без перерыва. Выдержка времени производилась с  $70\div 80\%$  ожидаемого напряжения. Разница между отдельными ступенями напряжения составляла  $5\div 10\ \text{kV}$  в зависимости от величины пробивного напряжения. За напряжение пробоя или напряжения принятия принималось напряжение первой искры, перекрывающей все расстояние между электродами. Напряжение пробоя в масле или напряжение появления кистевых разрядов отмечалось путем наблюдения в тех случаях, когда возможно было производить опыты близ поверхности масла, иначе даже сильной короны уже при расстоянии  $0,5\ \text{м}$  заметить было бы невозможно ввиду непрозрачности масла в толстых слоях. Как прави-

ло, делалось  $5\div 10$  опытов для каждой точки, для контрольных же точек и для особо важных случаев делалось по 30 опытов для определения средней величины пробивного напряжения и величины разброса (отклонения от средней величины отдельных значений пробивных напряжений). За величину пробивного напряжения бралась средняя арифметическая.

При импульсных испытаниях применялся ступенчатый 10-ударный метод подвода напряжения. Разница между ступенями напряжения бралась в пределах  $10\div 5\%$ . Напряжение определялось методом градуировки вольтметра в первичной цепи трансформатора, питающего контур, шаровым разрядником, включенным параллельно испытываемому объекту. Пробивным напряжением считалось то, при котором хотя бы один из 10 ударов

был с пробоем. За пробивное напряжение принималось, как правило, среднее арифметическое из напряжений  $6\div 5$  пробоев. Метод с непосредственным измерением напряжения при пробое был отвергнут ввиду невозможности применения его при исследовании комбинации масла с твердым диэлектриком, при исследовании на моделях трансформаторов и пр. и желания иметь во всех случаях один и тот же метод для получения сравнительных данных.

Между отдельными пробоями производилась выдержка в несколько минут для того, чтобы пузырьки газа, образующиеся при пробое, удалились из промежутка между электродами.

Результаты опытов. Определение закономерности коронного и пробивного напряжений было произведено для двух видов электродов: коронирующих и некоронирующих. В качестве коронирующих электродов, т. е. таких электродов, при которых пробоем предшествует явление короны, были применены электроды „игла-игла“ и „игла-плоскость“. В качестве некоронирующих электродов, при которых пробой происходит без предварительной короны, были применены цилиндрические проводники и шары различных диаметров. При достаточно больших разрядных расстояниях при некоронирующих электродах разряду начинает предшествовать корона, и закономерность пробивного напряжения для них, как увидим далее, переходит в закономерность пробивного напряжения для коронирующих электродов.

Характер пробоя масла при ступенчатом или плавном повышении напряжения наблюдался следующий: при некотором напряжении проскакивает полная искра от одного электрода к другому; в дальнейшем при длительном действии того же напряжения этого явления не наблюдается; при некотором повышении напряжения может снова оформиться такая же полная искра и потаснуть, а промежуток остается не пробитым. Продолжая так повышать напряжение лишь при значительно большем напряжении по сравнению с напряжением оформления первой искры, промежуток будет перекрыт искрой, переходящей в дугу.

Табл. 2 показывает последовательно повышающееся напряжение, которое выдерживает промежуток масла от первой искры до дугового перекрытия.

Таблица 2

Номер проб.	1	2	3	4	5	6	7	8
Напряжение кВ	270	280	282	284	290	300	310	310
Род пробоя	Искра	Нет	Искра	Искра	Нет	Искра	Искра	Сильная дуга разряда
Время выдержки до пробоя в секундах	50	60	Подъем	Подъем	60	45	10	15

Коронирующие электроды. При исследовании закономерности пробивного напряжения для электродов „острие-острие“, и „острие-плоскость“ были обнаруже-

ны следующие особенности. Величина разброса коронирующих электродов оказалась незначительной. При примененной методике разброс был получен от 5%. Качество трансформаторного масла не оказывало влияния на величину пробивного напряжения. Результаты измерений представлены на рис. 8.

Для больших разрядных расстояний до 400 мм электродов „игла-игла“ имеет место следующая закономерность:

$$E_{пр.эф} = 27,6 \cdot S^{0,7} \text{ кВ},$$

где  $E_{пр.эф}$  — пробивное напряжение (эффективное), расстояние между электродами в сантиметрах.

Для электродов „острие-плоскость“ для больших расстояний с достаточной точностью удовлетворяет закономерность, определенная из закономерностей и отстрия согласно электростатическим законам, т. е.

$$E_{пр.эф} = 22,4 \cdot S^{0,7} \text{ кВ}$$

Напряжение видимой короны почти постоянно слабо повышаясь с увеличением расстояния.

Как было отмечено ранее, влияние качества масла для коронирующих электродов отсутствует, величина разброса незначительная, но все же данные различных авторов даже при этих условиях отличаются друг от друга. Последнее, повидимому, объясняется фактором времени, которому до сих пор при пробое в масле нормальной частоте уделяли слишком мало внимания.

Некоронирующие электроды. Величина пробивного напряжения для некоронирующих электродов существенно зависит от качества масла, поэтому исследования велись в масле определенной электрической крепости именно 20÷22 кВ.

Для некоронирующих электродов величина разброса в противоположность коронирующим электродам значительна. Имеет место разброс  $\pm 20\div 30\%$ .

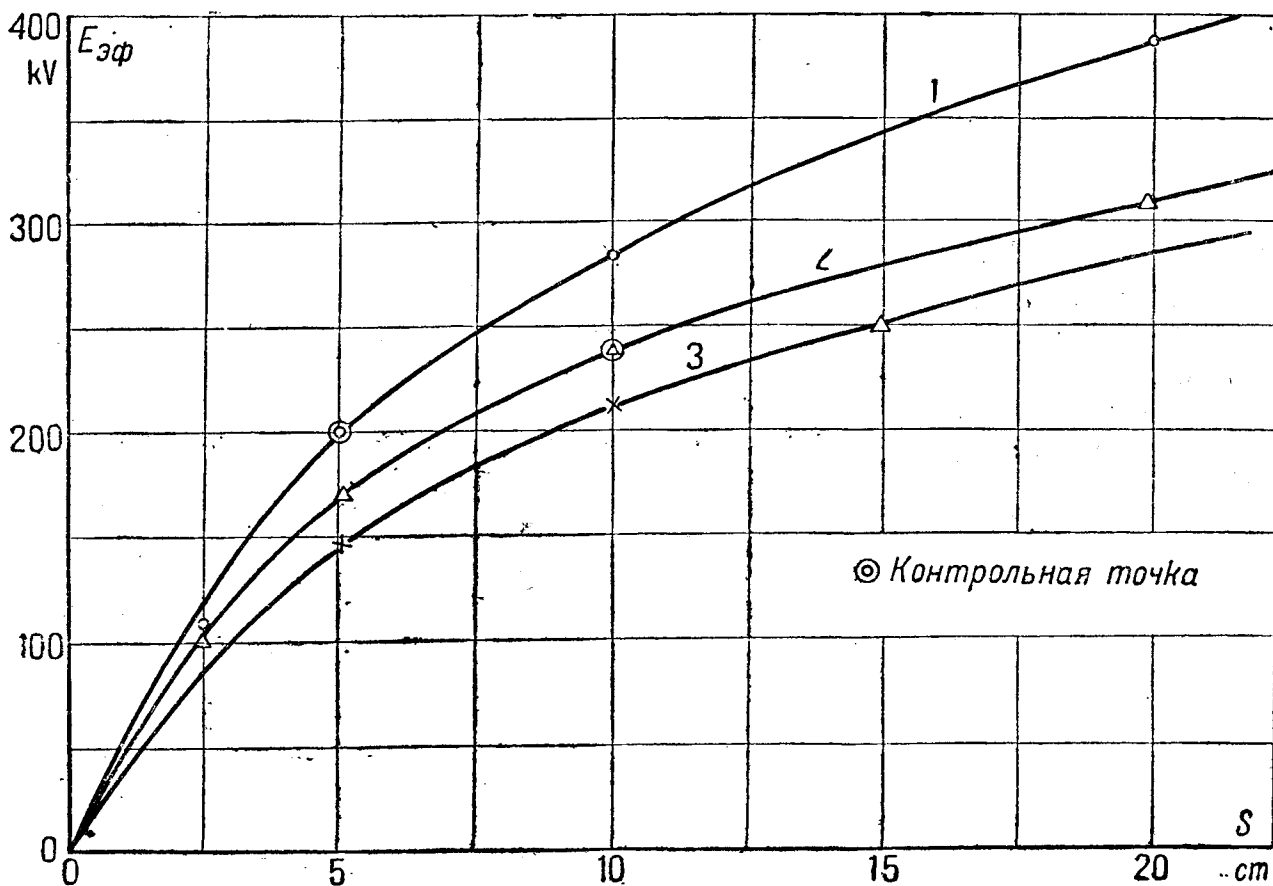


Рис. 9. Пробивное напряжение трансформаторного масла при 50 пер/сек. Температура масла  $t \approx 20^\circ \text{C}$ . Крепость масла 21÷22 кВ на 2,5 мм. Кривая 1 — электроды шары диаметром 250 мм; кривая 2 — шары диаметром 80 мм; кривая 3 — шар 80 мм-плоскость.

рис. 9 представлены кривые пробивных напряжений шаров диаметром 250 и 80 мм и для „шарикость“ (шар диаметром 80 мм). Разброс определялся контрольными точками, для которых производилось 30 проб, причем результаты показывают, что данного числа точек не вполне достаточно для построения кривой разброса, имеется лишь возможность с техническим приближением определить вероятную минимальную и максимальную величины пробивного напряжения. рис. 12 представлены результаты опытов с цилиндрическими электродами. При данных электродах при некотором критическом расстоянии пробоя начинает существовать корона, электроды начинают подходить к типу коронирующих и пробивное напряжение начинает подчиняться закономерностям коронирующих электродов. Необходимо отметить, что при достижении критического расстояния при некотором напряжении на высоковольтном электроде коронирование в виде неспокойных перемежающихся кистевых разрядов, которые при дальнейшем повышении напряжения переходят в полный разряд. Таким образом перед нами имеем электроды примерно в виде „острие-

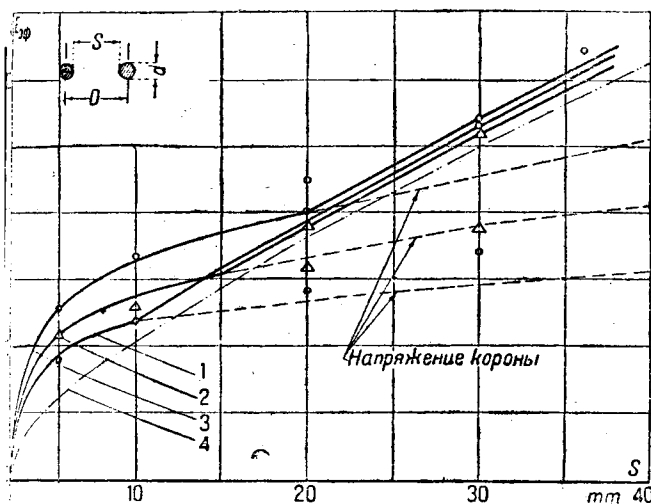


рис. 10. Пробивное напряжение трансформаторного масла при импульсе. Температура масла  $t = 20^\circ \text{C}$ . Крепость 22 кВ на 5,5 мм. Кривая 1 — диаметр цилиндра  $d = 5$  мм; кривая 2 — диаметр 15 мм; кривая 3 — диаметр  $d = 29$  мм. Электроды — параллельные цилиндрические проводники.

„шарикость“, и следовательно, закономерность для пробивного напряжения в области расстояния выше критического должна приближаться к закономерности

$$E_{пр} = 22,4 \cdot S^{0,7} \text{ кВ},$$

что подтверждается опытом.

Импульсные характеристики трансформаторного масла. Импульсная крепость трансформаторного масла определялась, так же как и при нормальной частоте, при коронирующих электродных электродах. Длина волны равна 10-15 см.

рис. 11 представлены результаты опытов с электродами „иголка-иголка“. С достаточной точностью кривая пробивных напряжений может быть выражена в следующем виде:

$$E_{пр\max} = 85 \cdot S^{0,8} \text{ кВ}.$$

Подставляя последнюю формулу с зависимостью пробивного напряжения для тех же электродов при нормальной частоте, имеем следующее выражение для коэффициента импульса в зависимости от расстояния данного вида электродов:

$$K = 2,18 S^{0,1}.$$

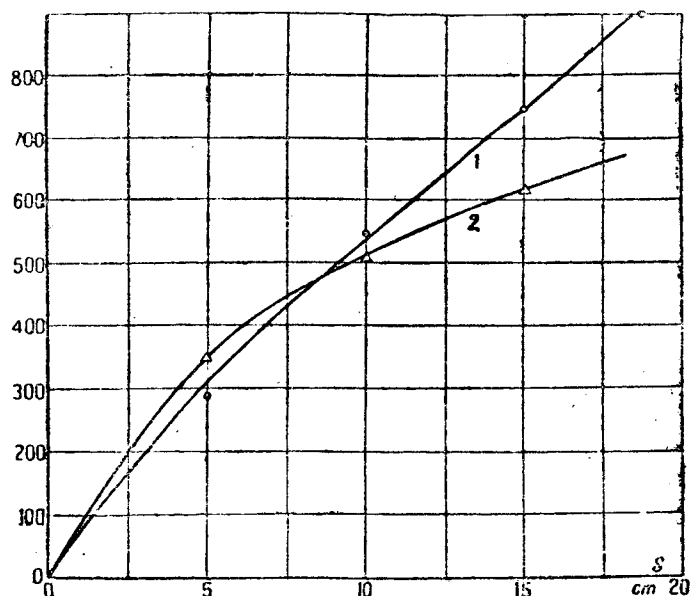


рис. 11. Пробивное напряжение для технически чистого трансформаторного масла при отрицательном импульсе. Температура масла  $t = 20^\circ \text{C}$ . Знак волны — минус. Кривая 1 — электроды „острие-острие“; кривая 2 — электроды „острие-плоскость“.

На рис. 11 представлены также результаты опытов для электродов „острие-плоскость“ (знак острия — минус).

Коэффициент импульса для данного вида электродов уменьшается с увеличением расстояния между электродами в противоположность случаю „иголка-иголка“.

На рис. 12 представлена зависимость пробивного напряжения от расстояния для цилиндрических проводников.

В табл. 3 сведены коэффициенты импульса для различных случаев.

Как видим из таблицы, коэффициент импульса увеличивается при одном и том же расстоянии между электродами по мере роста равномерности поля и понижения качества масла. Смысл подобной зависимости кроется в том, что примеси в масле, особенно влага, мало отражаются на величине пробивного напряжения при импульсе, на что имеются указания в литературе и что наблю-

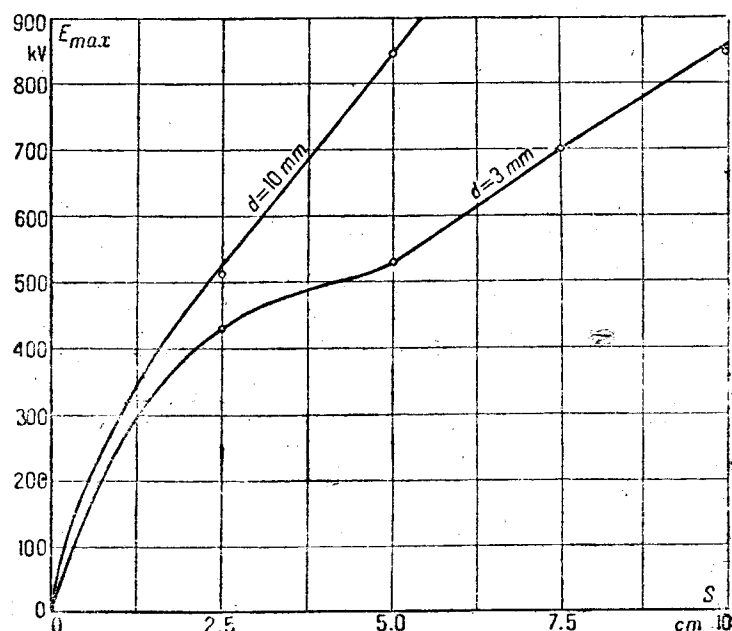
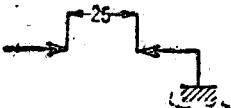
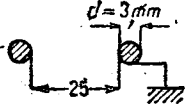
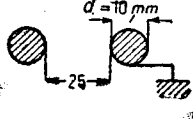
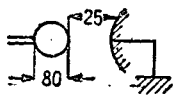
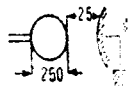


рис. 12. Пробивное напряжение для технически чистого трансформаторного масла при отрицательном импульсе. Электроды — параллельные цилиндрические проводники. Температура масла  $t \approx 20^\circ \text{C}$ . Знак волны — минус.

Сводная таблица коэффициента импульса трансформаторного масла для различных электродов: знак волны — минус,  $\lambda = 20 \mu\text{сек}$

Вид электродов		Цилиндры 	Цилиндры 	Шар-плоскость 	Шар-плоскость 
Коэффициент импульса . . . . .	2,3	4,27 <sup>8)</sup>	4,8 <sup>8)</sup>	5,67 <sup>4)</sup>	5,63 <sup>4)</sup>

далось и нами; в то же самое время подобные примеси катастрофически влияют на некоронирующие электроды при напряжении нормальной частоты.

### Заключение

1. Пробивное напряжение трансформаторного масла для коронирующих электродов не зависит от качества масла как при 50 пер/сек, так и при импульсе.

2. При расстояниях, ниже критического, для некоронирующих электродов имеются прямолинейная зависимость пробивного напряжения от качества масла для напряжения нормальной частоты и практически отсутствие зависимости при импульсе.

3. Пробивное напряжение для коронирующих электродов („острие-острие“, „острие-плоскость“) несколько снижается при увеличении температуры как при напряжении нормальной частоты, так и при импульсе. Для некоронирующих электродов для напряжения нормальной частоты имеется значительная зависимость электрической крепости от температуры; максимум крепости наблюдается при 60° С.

При импульсе наблюдается незначительное уменьшение крепости с уменьшением температуры; практически зависимость от температуры отсутствует.

4. Закономерность пробивного напряжения для некоронирующих электродов при достижении критического расстояния переходит в закономерность для коронирующих электродов, практически — в закономерность для электродов „острие-плоскость“.

5. Средняя величина пробивного напряжения является функцией времени выдержки при времени, менее 1 мин.,

при более длительном приложении напряжения зависимость практически отсутствует.

6. Величина разброса пробивных напряжений при нормальной частоте при одномоментной методике составляет для коронирующих электродов  $\pm 5\%$ , для некоронирующих электродов  $\pm 20 \div 30\%$  и мало зависит от длительности времени.

7. Для коронирующих электродов при больших рядных расстояниях установлена определенная стабильная закономерность, именно:

Для электродов „острие-острие“  $E_{пр} = 27,6 \cdot S^{0,7}$   
 „ „ „острие-плоскость“  $E_{пр} = 22,4 \cdot S^{0,7}$  пер/сек  
 „ „ „острие-острие“  $E_{пр} = 85 \cdot S^{0,8}$  отрезательный импульс  $\lambda = 20 \mu\text{сек}$

8. О коэффициенте импульса для трансформаторного масла вообще можно говорить лишь для коронирующих электродов, для которых он может быть выражен большими разрядными расстояниями:

Для электродов „острие-острие“

$$K = 2,18 S^{0,1}$$

9. При некоронирующих электродах коэффициент импульса сильно зависит от качества масла, увеличиваясь с понижением такового.

Для 22 кВ масла коэффициент импульса для некоронирующих электродов можно считать порядка 4—

Основные моменты остальных видов изоляции и лом, указанных в начале статьи, будут приведены в ближайшем времени.

## Меднозакисные выпрямители

Инж. Б. М. Тареев  
Москва, зав. „Динамо“

Медь образует два окисла: окись  $\text{CuO}$  и закись  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

Окись меди имеет совершенно черный цвет и образуется при накаливании меди в воздухе или в кислороде; интенсивное окисление имеет место при температуре выше 400°С. По данным Феттхнехта для образования слоя окиси толщиной в 1  $\mu$  на воздухе требуется при 180° — 8 суток, при 210° — 1 сутки, при 300° — 4 часа и при 450—550° — 15 мин. При дальнейшем накаливании выше температуры 780—800°С окись меди начинает разлагаться, образуя твердый раствор окиси и закиси; выше 800° образуется лишь закись меди. При достаточном нагреве слой окислов состоит уже лишь из закиси, плавящейся при 1222°. При медленном охлаждении может частично вновь образовываться окись.

Окись меди может быть осаждена из кипящего раствора медного купороса добавлением избытка едкого кали. Если перед добавлением едкого кали в раствор был примешан виноградный сахар (сильный восстановитель), то выпадает закись меди в виде красного порошка.

В природе закись меди встречается в виде минерала кристаллического строения (комбинация пентагонтриоктаэдра, октаэдра и

куба) куприта, состава: 88,8% меди и 11,2% кислорода. Слой окиси на поверхности меди имеет также кристаллическую структуру.

Сопротивление окиси меди весьма значительно. Сопротивление закиси меди (Бедкер, Броун) ниже и в сильной степени зависит от температуры (табл. 1)

Таблица 1

Температура °С	Сопротивление $\Omega\text{см}$
—3,2	83 750
+0,2	71 600
8,4	49 650
28,5	22 550
45	12 200
81	5 920
130,1	3 220
198	1 285
251	770
327	483
378	319,2

Таблица 2

№ элементов	$I_1$ А	$I_2$ мА
1	3,0	30
2	2,9	300
3	5,0	15
4	5,0	21
5	5,5	22
6	3,0	12
7	5,5	15
8	7,0	45

\*) Пробивное напряжение при нормальной частоте определялось в масле крепостью 30 кВ.

\*) Пробивное напряжение при нормальной частоте определялось в масле крепостью 20 кВ.



более важным свойством контакта „медь-закись меди“ является его удивительно высокая пропускная способность. Это свойство используется в конструкции меднозакисных (купроксных, ректокс) выпрямителей; такой выпрямитель состоит в основном из медной пластинки, покрытой слоем закиси меди, к которому прижата свинцовая пластинка, являющаяся вторым электродом. Впервые такие выпрямители были построены Грондалем в Америке; они изготовлены фирмой General Electric и др., в Европе Siemens-Halske и в настоящее время разрабатываются в СССР заводом „Светотехника“. Проводящим направлением является направление медь-закись меди, обратное направление — блокирующее. Мы будем называть в первом направлении прямым и обозначать его  $i_1$ , ток во втором направлении — обратным и обозначать  $i_2$ . Отношение токов, характеризующее совершенство работы выпрямителя, назовем „добротностью“ его Gütezahl<sub>2</sub>.

$$G = \frac{i_1}{i_2}$$

Для показания порядка этих величин и характера зависимости от различных факторов приведем ряд графиков по данным фирмы Siemens. На рис. 1 показана зависимость  $i_1$  в амперах (кривая  $a$ ) и  $i_2$  в миллиамперах (кривая  $b$ ) и  $G$  (кривая  $c$ ) от напряжения в вольтах при нормальной температуре. Рис. 2 дает температурные зависимости сопротивлений выпрямителя  $R_1$  и  $R_2$  в проводящем и блокирующем направлениях добротности

$$G = \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

при каждой из этих величин для исходной температуры при  $t = 100^\circ$ . Видно значительное ухудшение работы выпрямителя с увеличением температуры, ограничивающее нагрузку и вызывающее необходимость предусматривать при конструировании

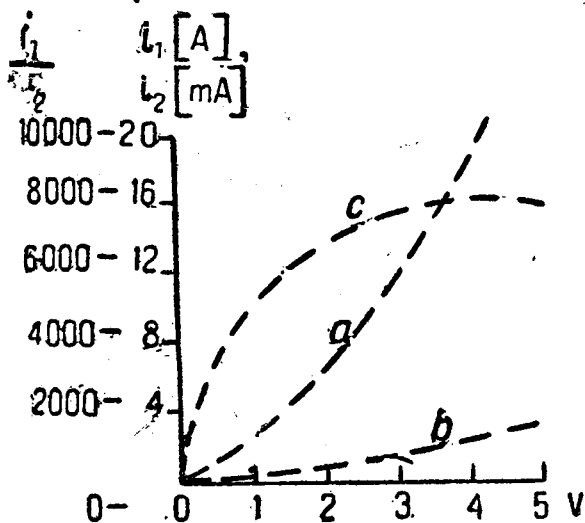


Рис. 1.

выгодные условия охлаждения. Рис. 3 дает зависимости  $R_1$  и  $G$  от давления между пластинками выпрямителя при нормальной температуре.

По данным фирмы Süddeutsche Apparaten-Fabrik результаты испытаний купроксных элементов с площадью пластины  $24 \text{ mm}^2$  при  $4,5 \text{ В}$  дали результаты, приведенные в табл. 2.

Средние значения для этих элементов, если не учитывать № 2, являются дефектного:

$$i_1 = 4870 \text{ мА}; i_2 = 24 \text{ мА}; G = 203.$$

В данных Institute of Radio-Engineers для купроксного выпрямителя при  $4,5 \text{ В}$  можно считать  $G = 500$ .

Сопротивление выпрямителя при сильном понижении температуры быстро растет и при  $-180^\circ\text{C}$  (температура жидкого воздуха) выпрямитель почти не обнаруживает проводимости ни в одну сторону (Лепешинская-Кракау).

Обработка медной пластинки для получения на ее поверхности закиси заключается (по Вологдину) в прокаливании в течение нескольких минут в электропечи при  $1100^\circ\text{C}$  с последующим нагревом при  $200 \div 300^\circ\text{C}$  в течение  $10 \div 15$  мин. После этой обработки образующийся верхний слой окиси меди, увеличивающий сопротивление выпрямителя и придающий пластине черный цвет, снимается наждачной бумагой или промыванием в азотной кислоте.

Исследования Вайбеля показали, что сопротивление закиси меди в значительной степени зависит от предшествовавшей тепловой обработки. Содержание кислорода в атмосфере, в которой идет обработка, не сказывается на результате, но продолжительность и температура нагрева, равно как и характер процесса охлаждения, имеют большое значение. Наибольшую электропроводность получают образцы закиси меди после многочасового прокаливания и быстрого охлаждения. Наиболее выгодной температурой

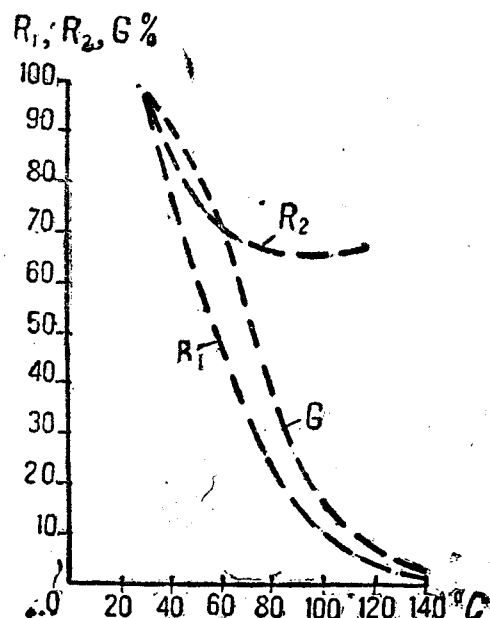


Рис. 2.

является  $500^\circ\text{C}$ ). При накаливании при различных температурах особое значение имеет температура конечного периода. При медленном охлаждении от температуры  $500^\circ$  получается ухудшение электропроводности, как бы при охлаждении с низшей чем  $500^\circ$  температуры. Если же мы вели прокаливание при приблизительно  $1000^\circ$ , будет выгодным медленное охлаждение до  $500^\circ$  с последующей „закалкой“ — погружением в холодную воду. Приводим результаты некоторых опытов Вайбеля.

Опыт 1. Пластика закиси меди прокаливалась в воздухе при  $1050^\circ$ , затем охлаждалась на воздухе. Удельное сопротивление  $\rho = 17000 \text{ Омсм}$ . Затем она же накаливалась в воздухе 6 час. при  $520^\circ$  и была подвергнута закалке в воде:  $\rho = 68 \text{ Омсм}$ . Таким образом мы получили улучшение электропроводности в 250 раз.

Опыт 2. Пластика прокаливалась при  $1050^\circ$  и затем охлаждалась до  $20^\circ$  в течение 20 час.  $\rho = 388 \text{ Омсм}$ . Затем она прогревалась при  $520^\circ$  в течение 4 час. и закаливалась погружением в воду:  $\rho = 100 \text{ Омсм}$ .

Опыт 3. Пластика прокаливалась при  $1050^\circ$  и охлаждалась на воздухе:  $\rho = 15800 \text{ Омсм}$ . Затем прокаливалась в вакууме 2 часа при  $540^\circ$  и закаливалась в воде:  $\rho = 1250 \text{ Омсм}$ .

Опыт 4. Пластика прокаливалась при  $1050^\circ$  и охлаждалась на воздухе:  $\rho = 17000 \text{ Омсм}$ . Затем прокаливалась при  $520^\circ$  в течение 4 час. и закаливалась погружением в воду:  $\rho = 184 \text{ Омсм}$ . Затем прокаливалась в вакууме при  $540^\circ$  в течение  $2\frac{1}{2}$  час. и закаливалась в воде:  $\rho = 900 \text{ Омсм}$ .

Даже при полном отсутствии кислорода при прокаливании перед закалкой (опыт 3) получается улучшение проводимости. Значительная величина сопротивления после прокаливания в вакууме (опыты 3 и 4) объясняется более медленным охлаждением при закалке, которая производилась в этих случаях погружением в воду образца вместе с эвакуированной кварцевой трубкой, в которой велся нагрев. Интересно отметить, что образцы, например, в опытах 3 и 4, дали в конечном результате проводимость одного порядка, несмотря на их совершенно разные форгешихте.

1) Примерная зависимость удельного сопротивления охлажденной закиси меди от температуры накала дана в № 3—4 „Электричество“ за 1933 г., реферат статьи Вайбеля, стр. 56.

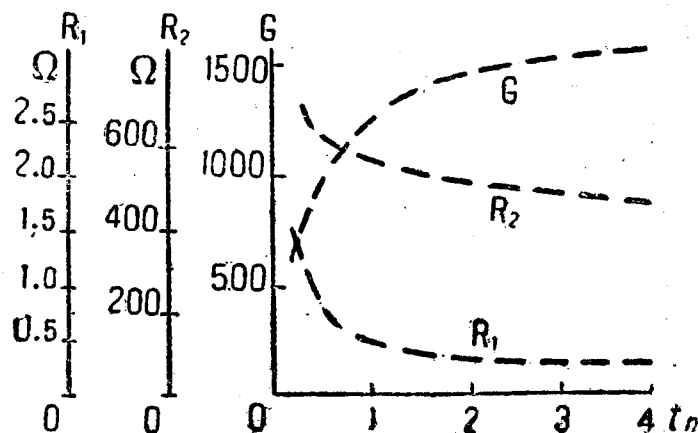


Рис. 3

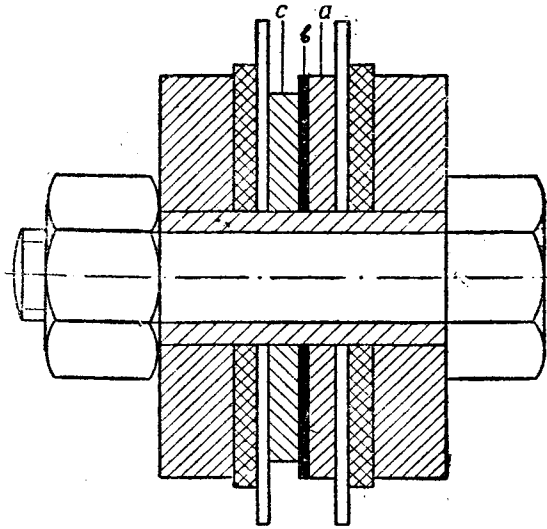


Рис. 4

Наследов и Неменов с целью получения большой чистоты закиси (почти полное отсутствие окиси меди) применяли после прокаливания меди на воздухе при  $1060^\circ$  охлаждение в водяном паре при  $100^\circ$ . Левинсон и Гофман предлагают накаливание и окисленные медные пластинки охлаждать погружением в глицерин.

Схематически выполнения купроксного выпрямителя показаны на рис. 4 и 5. Первая из них изображает выпрямитель малой мощности (а—медная шайба, б—слой закиси меди, с—свинцовая шайба) с помощью шайб, из которых длинные и узкие служат для улучшения теплоотдачи, и изолирующих прокладок; вся система стягивается болтом с гайкой. Второе выполнение служит для более значительных мощностей—в нем слой закиси б наносится по обеим сторонам медного листа а; с—свинцовые листы.

Допустимая плотность тока—не более  $0,3 \text{ А/см}^2$ ; повышение этой величины может быть достигнуто вентиляцией или масляным охлаждением, что дает возможность достичь  $0,6 \text{ А/см}^2$ .

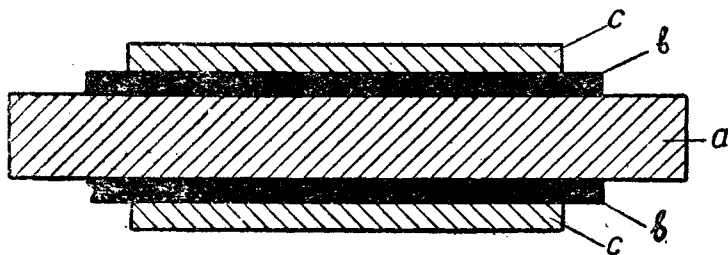


Рис. 5

Практически на элемент можно давать напряжение не более 6 В; при выпрямлении более значительных напряжений собираются батареи из отдельных элементов, соединяемых последовательно.

Малые купроксные выпрямители в большом количестве изготавливаются фирмой SSW (серия приборов под названием „Протос“) а также фирмой „Асхемо“ (модель на 1 А и 4 В).

По Грондалю и Грейгеру купроксный выпрямитель с хорошим масляным охлаждением может продолжительно работать с нагрузкой  $0,5 \text{ А/см}^2$ . При воздушном охлаждении для получения выпрямленной мощности 1 кВт требуется около 200 купроксных шайб диаметром 38 мм, что дает полный вес установки всего около 6 кг при занимаемом объеме  $6000 \text{ см}^3$ .

Рис. 6 дает примерную зависимость к. п. д. одного из выпрямителей Грондалю от нагрузки.

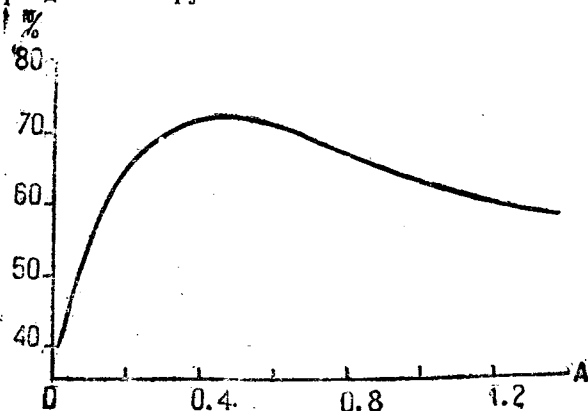


Рис. 6.

Купроксные выпрямители весьма хорошо работают и при высоких напряжениях.

Коэффициент полезного действия купроксных выпрямителей порядка 70%. Главная область их применения—слабые токи (рабочая лабораторная техника и т. п.); преимущества их—малый вес и размеры, крайняя простота в обращении. Особо следует отметить применение их вместе с приборами типа Дебре-д'Арсонваля для измерения переменных токов.

Работы лаборатории электроизмерительных приборов ЛЭИ установили, что купроксные выпрямители до некоторой степени сохраняют свои вентильные свойства при напряжениях порядка микровольт и ниже, что, в частности, дает возможность применить их для измерения весьма низких напряжений. В настоящее время проводятся исследования применимости их для индикаторных мостиковых измерительных схем переменного тока.

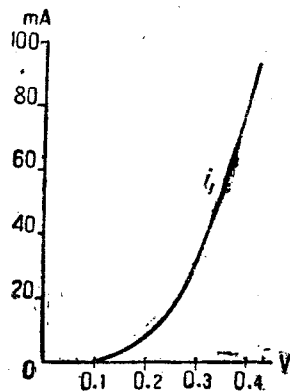


Рис. 7.

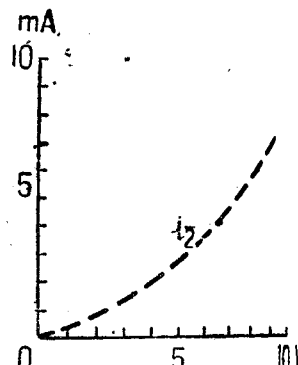


Рис. 8.

Величина электростатической емкости купроксного выпрямителя из определений Шоттки и Дейчмана порядка  $25000 \text{ см}^2/\text{см}^2$  поверхности; Лепешинская-Кракау в своих меднозакисных детекторах получала меньшие значения.

При точных экспериментальных исследованиях механизма действия купроксных выпрямителей важно иметь только один вентильный слой на границе меди и закиси меди: между закисью меди и вторым электродом должно быть тщательно обеспечено отсутствие заметного падения напряжения и вентильного действия. Шотт применял с этой целью для второго электрода коллоидальный графит и показал его полную пригодность для этой цели; Вайб также работал с коллоидальным графитом (аквадагом). Наследов и Неменов с успехом применяли для второго электрода тушь.

Кост пытался объяснить униполярный эффект ориентировкой кристаллов закиси меди в слое. В своих экспериментальных работах пользовался в качестве второго электрода, прижимаемого к слою картоном, обтянутым оловянной фольгой.

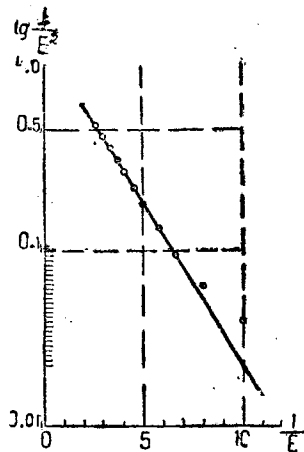


Рис. 9.

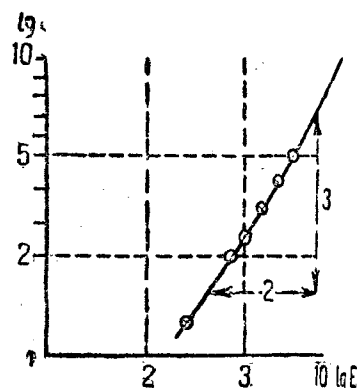


Рис. 10.

Ряд опытов, произведенных различными исследователями, показал, что в закиси меди проводимость имеет электролитический характер: при прохождении тока имеет место образование плазмопроводящего слоя на аноде и рост дендритов от катода. Униполярная проводимость имеет место в тех случаях, когда скорость сдвига тока в различных направлениях различна, в частности, когда электроды делаются из одного металла, но разной площади. Униполярный эффект наблюдается также, когда электроды имеют одинаковую площадь, но сделаны из различных металлов. В этом случае, благодаря наличию на электродах различных слоев оксидов, увеличивающих контактное сопротивление, их „эффективная“ площадь будет меньше геометрической; за счет этого явления создаются различия эффективных площадей электродов. В купроксном и

лителе на поверхности меди под слоем закиси располагаются межучточные окислы, имеющие большое сопротивление и уменьшающие эффективную площадь медного электрода. Эффективная площадь электродов из алюминия, магния и пр. вследствие развития окисных пленок должна быть значительно меньше геометрической площади. Легко убедиться в том, что униполярный эффект (следовательно, вентильное действие и выпрямление пластинки закиси меди между медным и алюминиевым электродом весьма значительны.

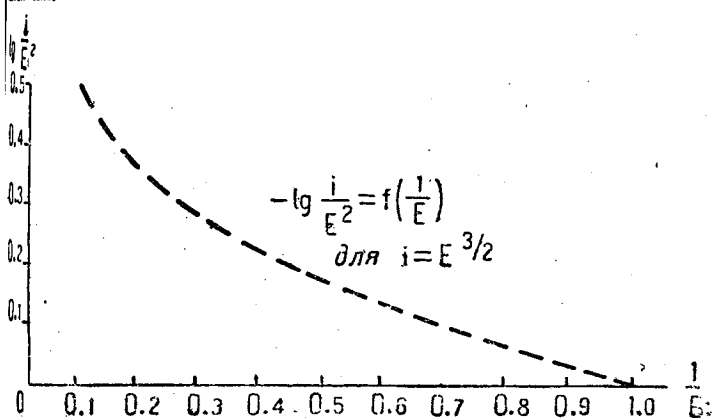


Рис. 11

Исследования Коста и Вайбеля показали, что униполярный эффект сохраняется в слое закиси, полученном на меди накаливанием или восстановлением из окиси, а также на пластинке закиси меди, помещенной на пластинку меди, так что получение закиси непосредственно на электроде не является необходимым. Напротив, имеются основания на то, что осажденный химическим („холодным“) способом слой закиси меди не дает униполярного эффекта.

Бартон впервые показал, что под влиянием освещения проводимость закиси меди меняется. Фотоэффект закиси меди весьма значителен; Ланге объясняет это явление облегчением работы выхода электронов из меди в закись меди по сравнению с работой выхода из меди в вакуум. Граффундер показал наличие фотоэффекта на обычных купроксных выпрямителях. Сказанное дало основание для широкого практического использования меднозакисных фото-

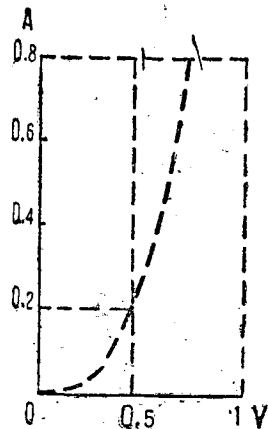


Рис. 12

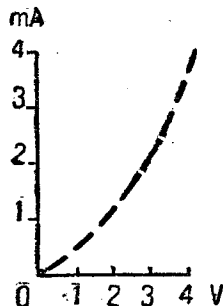


Рис. 13

ментов. Эту область применения электрических свойств закиси меди мы здесь не рассматриваем. Термоэлектродвижущая сила элемента „закись меди — медь“ — велика. Наличие фотоэффекта дало толчок к объяснению механизма униполярной проводимости купроксной системы электронными явлениями. Одновременное наличие униполярного эффекта и фотоэффекта является закономерным; например, то же наблюдается у селена вместе с зависимостью сопротивления от освещенности.

Ваз-Геель, рассматривая теорию выпрямляющего действия контакта металла и полупроводника в общем виде, приходит к аналитической формулировке

$$j = AF^2 e^{-\frac{B}{F}},$$

где  $j$  — сила тока на 1 см<sup>2</sup>,  $F$  — сила поля на эмитирующей поверхности,  $A$  и  $B$  — константы материала, из которого имеет место эмиссия электронов, а именно:

$$A = 6,2 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{W_i}{W_a}},$$

$$B = 6,8 \cdot 10^7 \cdot \varphi$$

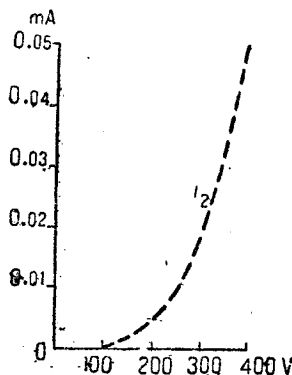


Рис. 14

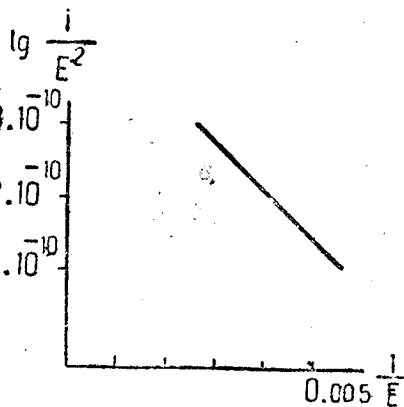


Рис. 15

где  $W_i$  и  $W_a = W_i + \varphi$  — суть внутренняя и внешняя работа выхода электронов по Зоммерфельду. Здесь  $\varphi$  — работа выхода электрона из металла.

Отношение токов в обоих направлениях при обозначении индексами 1 и 2 констант двух смежных сред, отделенных изолирующим слоем,

$$\frac{i_1}{i_2} = \left[ \frac{W_i^{1/2}}{W_a^{1/2} \cdot \varphi_1^{1/2}} : \frac{W_i^{1/2}}{W_a^{1/2} \cdot \varphi_2^{1/2}} \right] \cdot e^{-\frac{6,8 \cdot 10^7 (\varphi_1^{3/2} - \varphi_2^{3/2})}{F}}$$

отсюда

$$\lg \frac{i_1}{i_2} = \frac{C}{F},$$

где  $C$  — константа выпрямляющей системы.

Однако при возникновении холодной электронной эмиссии, как показали работы Стерна, Гослинга и Фаулера, возможен и другой тип связи тока и напряжения:

$$j = DF^{3/2},$$

где  $D = \text{const}$  (при возникновении объемного заряда).

Таким образом мы можем иметь всего 3 случая контакта:

а) Обе соприкасающиеся среды имеют связь  $j$  с  $F$  типа

$$j = Ah^2 e^{-\frac{B}{F}},$$

Этот случай уже разобран выше.

б) Первая среда дает связь

$$j_1 = AF^2 e^{-\frac{B}{F}}$$

а вторая

$$j_2 = DF^{\frac{3}{2}}.$$

В этом случае

$$\lg \frac{j_1}{j_2} = DF^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{B}{F}},$$

где  $D = \text{const}$ .

в) Обе среды имеют характеристики типа:

$$j = CF^{\frac{3}{2}}.$$

Тогда

$$\lg \frac{j_1}{j_2} = \text{const}.$$

Проверка этих рассуждений в приложении к купроксному выпрямителю иллюстрируется следующими 4 рисунками.

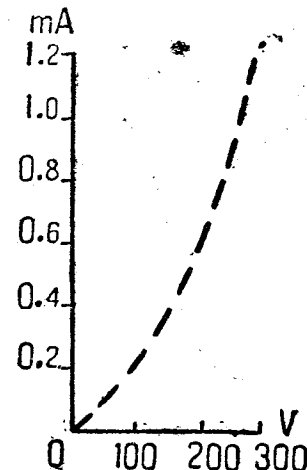


Рис. 16

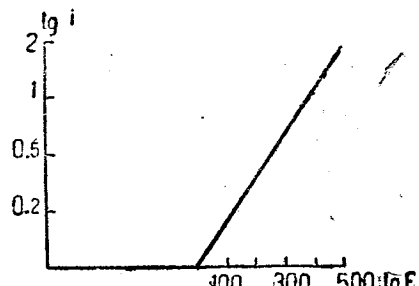


Рис. 17

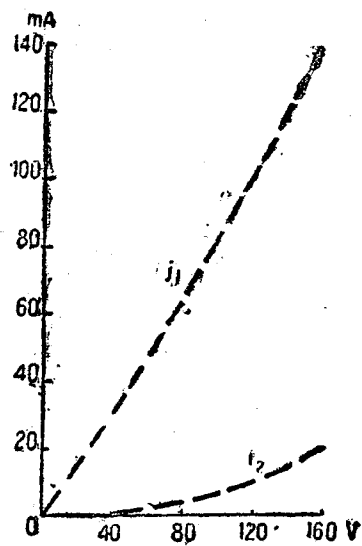


Рис. 18.

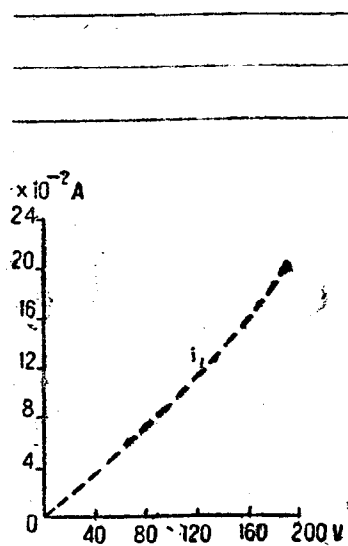


Рис. 19.

Рис. 7 изображает  $i_1 = f(E)$ , рис. 8  $i_2 = f(E)$  для такого выпрямителя в равномерных масштабах. Рис. 9 дает первую из этих характеристик, своеобразно трансформированную: по оси абсцисс отложены значения  $\frac{1}{E^2}$ , по оси ординат — значения  $\lg \frac{i}{E^2}$ . Если бы мы получили здесь прямую, это означало бы совпадение характеристики в аналитической формулировке с типом

$$i = AF^2 \cdot e^{-\frac{B}{E}}$$

есть лишь небольшие отклонения в области малых  $E$ , которые могут быть объяснены вторичными явлениями.

На рис. 10 дана характеристика  $i_2 = f(E)$  в логарифмическом масштабе. Видно хорошее совпадение с типом

$$i = AF^{\frac{3}{2}}$$

наклон прямой равен  $\frac{3}{2}$ . Совпадение можно признать блестящим.

Мы даем на рис. 11 кривую зависимости  $\lg \frac{i}{E^2} = f\left(\frac{1}{E}\right)$ , вычислен-

ной для  $i = E^{\frac{3}{2}}$ , могущей служить вспомогательным графиком при анализе характеристик различных вентилей по Ван-Геелю.

Ван-Геель рассматривает далее выпрямитель, образуемый вентильным металлом (Al, Mg, Ta и т. п.), покрытым оксидной пленкой, которая имеет контакт с полупроводником (например, сернистая или иодистая медь).

Если взять полупроводник с малым сопротивлением, например, селен, — выпрямляющее действие уменьшается: металл в контакте с оксидным слоем не дает выпрямления.

Рис. 12 дает такую характеристику для контакта катода — вентильного металла, с анодом — сернистой медью (проводящее направление), а рис. 13 для обратного направления — задерживающего. Прямолinéйные логарифмические отображения этих характеристик, аналогичные выше данным, не приводим.

Те же соображения Ван-Геель применяет и к электролитическому выпрямителю. Рис. 14 и 15 дают характеристики  $i_2 = f(E)$  и  $\lg$

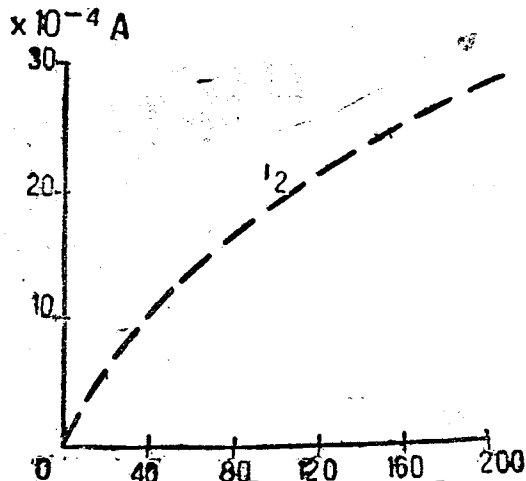


Рис. 20.

$i_2 = f\left(\frac{1}{E}\right)$  для случая тонкой сформованной пленки, рис. 16. 17  $i_2 = f(E)$  и  $\lg i_2 = f(\lg E)$  для случая толстой пленки. Все в задерживающего направления.

Однако теория Ван-Гееля не является общепризнанной. Наследов и Неменов провели экспериментальную работу по действию на выпрямитель сравнительно высоких — порядка сотен вольт — напряжений. Они ставили целью сравнить достоверность теорий механизма действия купроксного выпрямителя (теории Иоффе и Френкеля) о существовании контактного слоя на границе двух сред с проводимостью электронного характера, причем каждая из этих сред обладает электронным газом, подчиненным различным статистикам — теории Ван-Гееля, исходящей из представления о существовании на границе металла и полупроводника холодного электронного разряда. По Наследову и Неменову подтверждение теории Иоффе и Френкеля было бы обнаружение загиба вниз кривой зависимости  $i_2 = f(E)$  при достаточном повышении напряжения  $E$ , и, следовательно, непрерывный рост графика  $G = f(E)$ . Наоборот, теория Ван-Гееля требует постоянного загиба кривой  $i_2 = f(E)$  вверх, т. е. что функция  $G = f(E)$  имеет некоторый максимум с дальнейшим падением при повышении  $E$ . Для проведения исследования требовалось устранить влияние нагрева, искажающее явление. Это и достигалось включением напряжения механическим переключателем на короткие промежутки времени. При включении на время

рядка от  $10^{-1}$  до  $10^{-3}$  сек наблюдался загиб  $i_2 = f(E)$  вверх (на рис. 18 изображены зависимости  $i_1 = f(E)$  и  $i_2 = f(E)$  для времени включения  $4,8 \cdot 10^{-3}$  сек). Зависимость  $G = f(E)$  дана табл. 3; и четко заметно максимум  $G$  при  $E \approx 10$  В.

Таблица 3

$E$ В	$G$	$E$ В	$G$
0,1	1,3	20	48,7
0,5	3,3	30	46,8
1,0	3,7	50	44,9
2,0	4,8	75	28,0
5,0	30,0	100	19,2
10,0	52,7	125	12,9
		150	9,1

Однако Наследов и Неменов нашли, что и при такой продолжительности включения еще сказывается влияние нагрева. Применяя искусственное охлаждение, они получили характер зависимости, требуемый теорией Иоффе и Френкеля. Тот же характер зависимостей они получили и для еще более мелкой продолжительности включения: рис. 19 дает  $i_1 = f(E)$ , а рис. 20  $i_2 = f(E)$  для времени включения  $10^{-4}$  сек. Ясно виден загиб кривой  $i_2$  вниз, что связано с непрерывным ростом  $G = f(E)$ , подтверждающим теорию Иоффе и Френкеля.

#### Указатель литературы

1. Г. С. Альтманн, Контактные выпрямители, „Вестник электротехники“, 1931, № 11—12, стр. 417.
2. А. Бейлин, Сухой выпрямитель, „Новости техники“, 3 июня 1932.
3. В. П. Вологдин и др., Выпрямители, Энергоиздат, 1932.
4. А. Иванов, Советский меднозакисный выпрямитель для электролиза, „Новости техники“, 14 апреля 1932.
5. Ряд статей в „Zeitschrift für Physik der Sowjetunion“, № 1, 1932.
6. К. Карандеев, Детекторный милливольтметр переменного тока, „Новости техники“, заметка 3063.
7. П. Кобеко, И. Курчатов, К. Синельников, Механизм выпрямления некоторых солей, „ЖРФ-ХО“ (физ.), 1929, стр. 450.
8. Е. М. Левинсон и И. В. Гофман, Способ изготовления пластин для контактных меднозакисных выпрямителей, Заочное свидетельство Компатиза № 62072 от 10 января 1930.
9. В. Лепешинская-Кракау, Меднозакисные детекторы, „Вестник электротехники“ 1930, стр. 179.
10. А. Шрейдер, Купроксовый выпрямитель, „Радиотехника“ 1929, стр. 416.
11. Д. Н. Наследов и Л. М. Неменов, Исследование твердых выпрямителей в области высоких напряжений, „Журнал экспериментальной и теоретической физики“ 1932, стр. 183.
12. A. Ball und E. Ball, Die Gleichrichterwirkung des Kontakts Halbleiter—Metall. Zts. f. Phys., 1925, том 35, стр. 207.
13. J. Barré, Les redresseurs secs, „QST Franc“, 1930, № 71, стр. 48.
14. V. Barton, Light sensivity of cuprons oxide and of selenium, „Phys. Rev. 1924, т. 23, стр. 337.
15. M. Demontvilliers, Les redresseurs á oxide de cuivre, „Onde Electr.“, 1929, № 89, стр. 182.
16. L. Dubar, Sur une vérification de la théorie des détecteurs á redresseurs á contact, „C. R. de l'Ac. des Sc“, 1927, стр. 1022.
17. L. Dubar, Conducteurs n'obéissant pas à la loi d'Ohm, „RUE“ 1928, т. 24, стр. 153.

- V. Pettknecht, Ueber die Oxydation des Kupfers bei hoher Temperatur, „Zts. f. Elektrochemie“ 1929, т. 35, стр. 142 и 1930, т. 36, стр. 16.
- W. Graffunder, Ueber den lichtelektrischen Effekt bei Trockengleichrichtern, „Phys. Zts.“, 1930, т. 31, стр. 375.
- H. O. Grondahl, A new Type of Contact Rectifier, „Phys. Rev.“ 1926, т. 27, стр. 813; Science, 1926, т. 64, стр. 306.
- Grondahl and Geiger, A new Electronic Rectifier, „JAIEE“, 1927, т. 46, стр. 215 и 505.
- A. Güntherschulze, Elektrische Gleichrichter und Ventile, (русский перевод Я. М. Бриля, Энергоиздат, 1932). Handbuch der Physik, herausg. von H. Geiger и K. Scheel, 1927.
- W. Holtz, Sehr ungleiche Elektrode, Ventilzellen, Metallvegetationen, „Phys. Zts.“, 1905, т. 6, стр. 480.
- O. Trilon, Der neue Trockengleichrichter, „Siemens-Zts.“, 1928, стр. 283.
- H. Kost, Leitfähigkeitsänderungen bei Kupferoxydul, „Zts. f. Phys.“, 1929, т. 54, стр. 367.
- R. Lange, Ueber eine neue Art von Photozellen, „Phys. Zts.“ 1930, т. 31, стр. 139.
- M. Leblanc, Le redresseur Rectox-Bull. Soc. fr. Fl., 1927, стр. 207 и 1929, стр. 1061.
- H. Pélabon, Sur le redresseur à oxyde de cuivre. C. R., 1930, стр. 630.

29. G. Sacerdote, Prove su raddrizzatori ad ossido di rame „L'Elettrotecnica“, 1930, стр. 106.
30. D. Santini and I. R. Smith, The Rectox rectifier, „El. Journ.“, 1929, стр. 416.
31. W. Schottky, и W. Deutschmann, Zum Mechanismus der Richterwirkung in Kupferoxydulgleichrichtern „Phys. Zts.“, 1929, стр. 839.
32. W. Schottky, R. Störmer, F. Waibel, „Zts. f. Hochfr.“, 1931, стр. 162.
33. Siemens-Halske G. g. m. b. H. Trocken-Gleichrichter.
34. Stern, Goseing and Fowler, Proc. Roy. Soc., London. A 1929, стр. 699.
35. Ueber die Wirkungsweise der Metalloxydulgleichrichter. Helios, 1930, № 11, стр. 23.
36. W. Van Geel, Zur Wirkung der Gleichrichter, „Zts. f. Phys.“, 1931 т. 65, стр. 765.
37. F. Waibel, Die elektrische Leitfähigkeit des Kupferoxyduls in Abhängigkeit von der Wärmebehandlung, „Wiss. Ver. a. d. Siemens-Konzern“ 1931, № 4, стр. 65.
38. F. Waibel, Ueber Gleichrichterwirkungen an Kupferoxydul, „Wiss. Ver. a. d. Siemens-Konzern“, 1931, № 4, стр. 70.
39. F. J. Wilkins, Ueber die Oxydation des Kupfers bei hoher Temperatur, „Zts. f. Elektrochemie“, 1929, стр. 500.
40. A. Wuest, Der Kupferoxyd-Gleichrichter, „Radio-Händler“, 1929 стр. 78.

## ВУНА ЧИТАТЕЛЕЙ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

### 110 или 220 V в распределительных сетях населенных мест<sup>1)</sup>

(по поводу статьи проф. В. М. Хрущева в № 1 журнала „Электричество“ за 1933 г.)

Инж. Л. Б. Гейлер  
Москва, ВЭИ

В странах Западной Европы вопрос о наивыгоднейшем напряжении для распределительных сетей в населенных местах как с технической, так и с экономической точки зрения уже давно определенно решен в пользу четырехпроводной системы 380/220 V. Как известно, пропускная способность сети при одном и том же числе питающих пунктов теоретически возрастает с квадратом общего напряжения; иначе говоря, при одинаковых сечениях и прочих равных условиях вес проводникового материала в сети теоретически изменяется обратно пропорционально квадрату рабочего напряжения. Отдельные возражения против 380/220 V, которые время от времени появляются в специальной прессе, касаются совсем другой стороны вопроса, а именно—сравнительной опасности, которую представляет это напряжение, особенно при применении его в сельских местностях, в условиях недостаточной культурности населения или же при низком качестве проводки.

Приблизительно такое же положение занимал вопрос 380/220 V и у нас в Союзе, но ясность, господствовавшая в этом вопросе, была за последние годы сильно поколеблена, главным образом, благодаря выступлениям проф. В. М. Хрущева в пользу более низкого напряжения 220/127 V, причем эта точка зрения была поддержана и группой светотехников, правда, очень незначительной.

Последняя статья проф. Хрущева, снова возвращая нас к вопросу о напряжениях, и с прежней аргументацией, помещена в № 1 „Электричества“ за текущий год („О некоторых спорных вопросах проектирования электрических сетей населенных мест“). Оставляя в стороне грубополюемический характер статьи, ограничив освещением технико-экономической стороны вопроса, причем я ставлю себе задачей по возможности свести его в столь исчерпывающей форме, чтобы дальнейшие колебания в нем и повторные обсуждения были бы совершенно излишними.

Прежде всего я должен сделать одно общее замечание к дальнейшим рассуждениям. Развитие электротех-

ники ее во всех областях характеризуется применением все более и более высоких напряжений, и потому в настоящее время мы не можем подходить к вопросам экономики и вопросам безопасности электрических установок „с точки зрения 1899 г.“, когда и напряжение 110 V переменного тока уже представлялось достаточно высоким и когда не существовало резко выраженных тенденций к экономии металлов и к высокому их использованию.

Дальнейшее рассмотрение вопроса о наивыгоднейшем (или целесообразном) напряжении для сетей населенных мест разобьем на 2 этапа. Первый будет посвящен решению этого вопроса для настоящего момента, т. е. в условиях чрезвычайной дефицитности, а следовательно, и дороговизны цветного металла у нас в Союзе. Во втором этапе мы попытаемся найти решение того же вопроса для ближайшего будущего, т. е. для более или менее длительного периода времени, когда работа нашей цветной металлургии разовьется полным темпом и медь перестанет быть дефицитным или импортным материалом. Другими словами, мы попытаемся проверить решение вопроса о наивыгоднейшем напряжении для такого момента, когда оба фигурирующие в расчетах кардинальных фактора—цена проводникового материала и цена топлива—придут в прежнее соответствие.

Для первого этапа вопрос решается чрезвычайно просто. В самом деле, применяя любое элементарное выражение для суммы годовых расходов по электрической сети (например, хотя бы применяемое проф. Хрущевым в своих расчетах) и пользуясь реальной стоимостью меди в настоящее время, а не условной расценкой ее в 1900 рублей за 1 т, мы в результате дифференцирования этого выражения можем получить только напряжение порядка 380/220 V и выше. В формальных подсчетах проф. Хрущева, ориентирующихся на указанную условную стоимость меди, большинство значений напряжения получается на пределе между 120 и 220 V, и потому включение в подсчеты реальной, увеличенной стоимости меди, должно

резко поднять результат в сторону более высоких напряжений. Это положение совершенно очевидно, и остается только иллюстрировать его отдельными примерами, взятыми из практики работ проектно-монтажных организаций.

В области фабрично-заводских осветительных сетей применение системы 220/127 V вместо 380/220 V влечет за собой почти удвоенный расход меди (или алюминия). При существующих методах расчета фабрично-заводских осветительных сетей и при обычно встречающейся их конфигурации, которая зачастую определяется самыми местными условиями, расход меди на единицу установленной мощности источников света составляет в среднем

при системе 380/220 V 10—11 kg/kW

” ” 220/127 V 18—20—kg/kW

Эти цифры представляют собой средние величины, полученные на основании анализа большого количества проектов, выполненных для обоих вариантов при прочих равных условиях. Как видим, перерасход меди при 220/127 V выражается весьма солидными величинами.

Если перейдем к мелким установкам со смешанной нагрузкой (осветительной и силовой), то в процентном отношении получим такие же результаты. Ввиду невозможности пользования здесь какими-либо удельными показателями, приведем в виде иллюстрации один пример, подсчитанный для нескольких вариантов. Расход меди подсчитан для жилого трехэтажного дома со столярной и механической мастерскими во флигеле, с общей установленной мощностью освещения в 23kW и с 6 двигателями установленной мощностью 32 л. с. Результаты этих подсчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Система	Расход меди. kg
Постоянный ток 220 V . . . . .	100
” ” 2×220 V . . . . .	46,5
Переменный ток 220/127 V . . . . .	73,8
” ” 380/220 V . . . . .	37,4

Однако наиболее резкую картину мы получим, если обратимся к области городских осветительных сетей. Установление каких-либо единообразных и сравнимых удельных показателей представляло здесь большие трудности. Насколько мне известно, попытка получить подобные показатели в виде некоторой функциональной зависимости еще никем не предпринималась и во всяком случае еще нигде не была опубликована. Изучение большого количества проектов дало мне возможность поставить цифры расхода меди в зависимости от расчетной плотности населения города на 1 km<sup>2</sup> и от так называемой „условной плотности нагрузки“ (табл. 2).

Если фактическая плотность нагрузки отличается от условной, то взятые из табл. 2 непосредственно или же интерполированные величины расхода меди в тоннах

на 1 000 жителей должны быть еще скорректированы путем умножения на отношение

*фактическая плотность нагрузки*

*условная плотность нагрузки*

Расход меди здесь относится только к сети распределительной и уличного освещения (без питающей). Максимальное падение напряжения было принято в 2,5% <sup>2)</sup>.

Цифры эти по самой природе вопроса могут быть ориентировочными и претендовать не более, на выяснение порядка величин, с которыми приходится иметь дело. Во всяком случае, эти цифры показывают, что при применении 220/127 V вместо 380/220 V в распределительных сетях электрических установок потребуется заложить удвоенное количество проводникового материала, т. е. цветного металла. Вместе с тем следует отметить, что в сетях 380/220 V может быть достигнута дальнейшая экономия цветного металла путем перехода на железные провода на сравнительно слабо загруженных участках, на отрезках линий и преимущественно на окраинах города или в пригородных местностях. Такая возможность у нас при постройке сетей сейчас широко используется. При наличии напряжения 220/127 подобная возможность практически исключается из-за возрастания силы тока почти вдвое и увеличения падений напряжения.

На свете приведенных фактов становится совершенно непонятным утверждение проф. Хрущева, будто бы борется „за то, чтобы у нас в стране применялись методы, дающие наилучший экономический эффект“. В самом деле, в своих статьях и учебниках, напечатанных совсем недавно, в 1932 г. проф. Хрущев рекомендует, во-первых, исходить из возможно более высоких удельных плотностей нагрузки, кстати, идущих вразрез с конкретными подсчетами проектирующих и строительных организаций; во-вторых, он добивается того, чтобы полученные таким путем преувеличенные мощности распределялись в сетях и подводились к потребителям под низким напряжением 220/127 V. Посмотрев всего того, что было сказано выше, нетрудно понять, что обе указанные доктрины вдвойне означают перерасход меди и алюминия. Для кабельных линий это одновременно обуславливает и увеличенный расход свинца из-за увеличения диаметров кабеля. Отсюда становится ясным, что проф. Хрущевым вопрос решается без учета наличной реальной обстановки, т. е. во времени и пространства.

Теперь в намеченном порядке переходим ко второму этапу вопроса о наиболее выгодном напряжении распределительной сети. Напомним читателям, что проф. Хрущев решает этот вопрос в пользу низкого напряжения 110/120 V в чисто математической форме, путем отыскания минимума функции, содержащей сумму ежегодных затрат на сеть. Аналогичную методику

<sup>2)</sup> Более подробные материалы по данному вопросу будут опубликованы в ближайшее время.

<sup>3)</sup> См., например, по этому вопросу статью автора „Экономический расчет линий с железными проводами“ („Известия ГЭТ“, 1932 № 7—8, стр. 159—163).

Таблица 2

Плотность населения (число жителей на 1 km <sup>2</sup> ) . . . . .	2 500	3 500	5 000	7 500	10 000	12 000
Расход меди при 380/220 V (в т на 1 000 жителей) . . . . .	0,75 ÷ 1,15	0,68 ÷ 1,02	0,56 ÷ 0,84	0,41 ÷ 0,61	0,34 ÷ 0,51	0,30 ÷ 0,46
Расход меди при 220/127 V (в т на 1 000 жителей) . . . . .	1,9	1,66	1,40	1,02	0,85	0,76
Условная плотность нагрузки (kW/km <sup>2</sup> ) . . . . .	54	68	90	127	165	194



сречаем во многих курсах сетей и работах из этой области<sup>4)</sup>, однако они не дают того вывода, к которому приводит проф. Хрущов, вследствие того, что последний отличается от остальных исследователей и практиков, работающих в данной области, исходит из минимальной стоимости единицы светового потока ламп, т. е. одного люмена. При этом величина энергии, потребляемой лампами, т. е. нагрузка сети, получает корректив в виде множителя  $(f+nE_2)$ , где  $E_2$  — искомое вторичное напряжение, а  $f$  и  $n$  — некоторые коэффициенты, зависящие от соотношения между удельной величиной  $Lm\text{ IW}$  для ламп 110 и 220 В. Проф. Хрущов принимает эту величину в светоотдаче ламп, т. е. расход энергии в среднем для всех ламп 220 В, на 11,7% выше, чем для ламп 110 В. Только при таком способе подсчета, по мнению проф. Хрущова, могут быть обеспечены интересы потребителя электрической энергии в целом, а государство сможет наилучшим образом распорядиться своими ресурсами.

Проанализируем последовательно слабые места рассматриваемого метода, начиная с отдельных второстепенных деталей с тем, чтобы под конец перейти к выявлению основной ошибочности предпосылки.

Следует прежде всего указать, что даже при пользовании чисто формальной методикой проф. Хрущова и при применении условной (нереальной для данного момента) стоимости меди в 1900 руб. за 1 т — получаемое решение в пользу 380/220 В, поскольку расчетная плотность нагрузки не превышает 0,5 W/m<sup>2</sup>. Это означает, как показал в своих работах инж. С. Тер-Минасян<sup>5)</sup>, что для большинства провинциальных городов СССР приходится выбирать 380/220 В, даже следуя букве расчетов проф. Хрущова. Правда, последний в своей статье оспаривает величины этих нагрузок, полученные опытным путем инженерами, уже много лет практически работающими по проектированию и сооружению сетей для рассматриваемых городов и желает видеть эти цифры во что бы то ни стало увеличенными, очевидно, для спасения своих выводов. Однако, данные нагрузки, достаточно полно учитывающие развитие сети в течение ближайших 4—5 лет и находящие себе авторитетное подтверждение со стороны всех проектных организаций<sup>6)</sup>, а также и со стороны проф. Дмитриева и проф. Глазунова, должны быть приняты как определенный факт, т. е. как некоторое реальное задание.

При плотностях нагрузки свыше чем 0,5 W/m<sup>2</sup>, т. е. для сравнительно густо заселенных или больших городов по формуле проф. Хрущова получаются невыгоднейшие напряжения порядка 100—120 В, т. е. лежащие ближе к 110—120 В, чем к 220 В.

Здесь, однако, нужно отметить одно чрезвычайно существенное упущение, которое делает проф. Хрущов в своих формулах, а именно принимает стоимость 1 kWh энергии постоянной, не зависящей от величины искомого напряжения  $E_2$ . Выше уже было указано, что применение более высокого напряжения (380/220 В) обуславливает уменьшение расхода меди по сравнению с 220/127 В, в среднем — на 50%, т. е. вдвое, а это обстоятельство означает громадное удешевление сети и сокращение соответствующих капиталовложений. Наоборот, независимо от того, кто строит сеть и кто является ее владельцем — государство, коммунальное предприятие или сами потребители — абоненты сети — при применении низкого напряжения порядка 220/127 В должны быть затрачены крупные средства на приобретение дополнительного количества меди. Например, по данным инж.

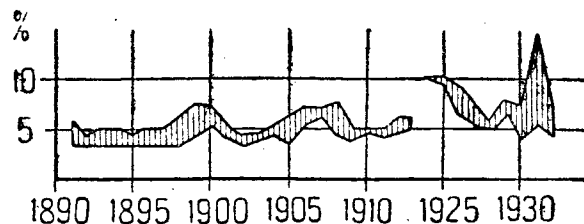


Рис. 1. Кривая колебаний учетного процента Германского государственного банка за 40 лет

С. Тер-Минасяна для города Омска с расчетным населением в 200 000 жителей, расход меди при 220/127 В составляет 175 т против 80 т меди и 40 т железа при 380/220 В. Сокращение первоначальных затрат на сеть при прочих равных условиях уменьшает годовые эксплуатационные расходы в части расходов по капиталу. Поэтому снижается соответствующая составляющая стоимости энергии и, следовательно, при более высоком напряжении и дешевой сети стоимость энергии должна, несомненно, быть меньше.

Такую зависимость стоимости энергии от напряжения можно для простоты выразить в форме

$$p = a - b E_2,$$

или точнее,

$$p = a - b E_2^2.$$

Если ввести во все вычисления, производимые проф. Хрущовым, исправленную указанным способом стоимость энергии, то при стоимости меди в 1900 руб./т и существующей у нас стоимости топлива мы получим ответ безусловно в виде более высокого напряжения, чем 100—160 В, что решительным образом дает перевес в сторону 220 В, следовательно, с точки зрения себестоимости единицы светового потока и с учетом интересов самого потребителя электрической энергии низкие напряжения порядка 110—120 В оказываются несостоятельными.

Конечно, если топливная составляющая стоимости энергии была слишком высока по отношению к составляющей расходов по капиталовложениям на медь, то результат дифференцирования функции суммарных расходов мог бы дать — и при методике проф. Хрущова — результат в пользу более низких напряжений. Но в том то и дело, что такое соотношение не может иметь места в обычных условиях, что подтверждается анализом колебания цен на топливо и медь и колебания учетного процента на капитал в течение продолжительного периода времени.

За отсутствием под рукой соответствующей исчерпывающей статистики для условий СССР, привожу в виде иллюстрации соответствующие данные для Германии<sup>7)</sup>.

Средняя стоимость 1 т угля по годам:

1900	1905	1910	1913	1925	1927	1929	1931	1932
11,10	9,30	10,50	12,00	14,98	14,87	16,87	15,40	14,21 RM/t

На рис. 1 приведена кривая колебаний (наивысшее и наинизшее значение) учетного процента Германского

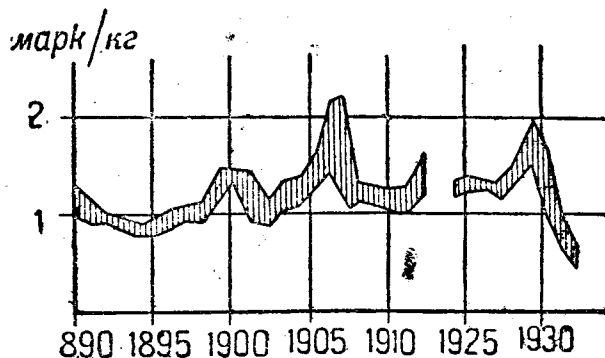


Рис. 2. Кривая колебаний стоимости меди в Германии за 40 лет.

<sup>4)</sup> См. например, работу B. Bullard „El. World“, книгу Reye and Seelye, Economics of electrical Distribution, а также статью Никогосова и Карасика, („Эл-во“, 1931, № 19).

<sup>5)</sup> См. „Вестник электропромышленности“, 1931, № 7 и 1932, № 2.

<sup>6)</sup> См. например Никогосов и Карасик, „Электричество“, № 19.

<sup>7)</sup> См. „Б и М“, 1932, № 44.



государственного банка по годам. На рис. 2 дана весьма любопытная кривая изменения стоимости меди на германском рынке за период времени в 40 лет. Поскольку важны не абсолютные значения рассматриваемых основных факторов, а только их соотношение, то анализ приведенных данных показывает, что в реальных условиях ожидать резкого изменения результатов при подсчете наимыгоднейшего напряжения не приходится.

Критика, которой мы подвергали до сих пор методику проф. Хрущова, касалась ряда важных факторов при условии признания правильности самой методики. Как мы только что показали, уже сами по себе эти предлагаемые нами поправки или уточнения в расчетах резко изменяют результаты в пользу 380/220 V. Сейчас же мы покажем, что и сама методика и подход к решению задачи у проф. Хрущова в своей основе неверны и потому-то и приводят к парадоксальному выводу в пользу 220/127 V.

Основная ошибка проф. Хрущова, которая загнипозировала и его последователей, коренится в представлении, будто потребитель (если иметь в виду, главным образом, мелких абонентов в жилых помещениях, которые и определяют собой в основном график нагрузки), во-первых, точно рассчитывает потребную ему освещенность в люксах и, во вторых, будто бы потребитель имеет возможность устанавливать у себя отдельные источники света на любое, желательное для него, число люксов. Ни то ни другое, как хорошо известно, не соответствует действительности. Выбор степени освещенности в жилищах производится далеко не на научной основе, и в этом отношении потребитель часто решит как в сторону слабой освещенности, так и сильной, вредной для глаз. С другой стороны, световой поток ламп не есть непрерывная функция, как то принимает проф. Хрущов, и в силу ограниченного ассортимента имеющихся в продаже ламп мы можем приобрести их лишь по ступеням светового потока, ли, практически, по их маркировке в ваттах.

Если мы примем (с достаточным запасом в пользу 110 V), что лампы 220 V потребляют в среднем на 12% больше энергии, чем лампы 120 V при том же световом потоке и одинаковом сроке службы, то, рассматривая, например, ряд ламп на 220 V по стандарту СССР в 0, 30 и 50 W и по германскому стандарту в 15, 25, 40 и 60 W получаем, что при 120 V нам потребовались бы лампы (для получения прежнего светового потока) соответственно мощностью в 17,6, 26,4 44 W и 13,2, 2, 35,2, 52,8 W. Как известно, лампы таких мощностей не изговляются. Таким образом, «экономия» при применении напряжения 110—120 V, которую так усиленно подчеркивают сторонники этого напряжения, оказываясь мнимой. И если потребитель в сети на 230 V будет получать от лампы меньший на 10—12% световой поток, чем он мог бы получить от лампы такой же мощности в сети 110—120 V, то он не терпит никакого ущерба или ущерба ни в смысле выполнения своих световых функций, ни в смысле продуктивности своего труда как физического, так и умственного. В самом крайнем случае он регулирует нужную ему степень освещенности либо приближением себя к источнику света, либо перемещением последнего на наиболее удобное расстояние. Каждый из нас ежедневно пользуется этими приемами по отношению, например, к настольным или переносным лампам.

В больших помещениях общественного значения и на омышленных предприятиях, а также для наружного освещения или в случае прожекторного освещения при борьбе системы освещения и источников света соблюдают рационально-научные основы. Но поскольку здесь принимаются лампы относительно большой мощности начиная с 500 W и выше, вопрос о несколько лучшем п. д. 110-V ламп совсем утрачивает свое значение.

Как известно, чем мощнее лампа, тем более ступенчатая разница в светоотдаче между лампами 220 и 110 V. Данные о светоотдаче ламп на эти напряжения по стандарту СССР и ламп „Osram“ приведены в табл. 3 и 4.

#### Светоотдача ламп по Союзному стандарту

Таблица 3

Мощность лампы W	Световой поток в Lm		Разница %
	при 110—120 V	при 220 V	
500	8 600	7 560	12
750	13 450	12 250	8,9
1000	18 500	17 200	7

#### Светоотдача ламп „Osram“ по данным 1932 г.

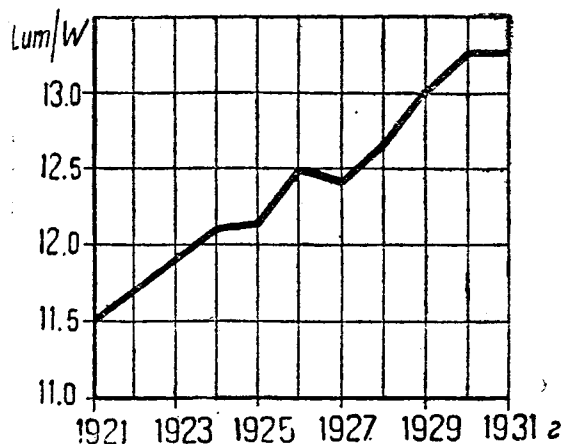
Таблица 4

Мощность лампы W	Световой поток Lm		Разница %
	при 110—120 V	при 220 V	
500	10 500	9 000	14,3
750	16 500	15 000	9,1
1 000	22 000	21 000	4,5
1 500	35 500	33 500	5,96
2 000	44 000	41 500	5,68
3 000	70 000	67 000	4,3
5 000	115 000	110 000	4,35

В проектах освещения больших помещений или площадей редко удается использовать ту незначительную выгоду, которую дают 110-V лампы большой силы света по сравнению с 220-V, так как либо местоположение и количество ламп являются заранее фиксированными, либо при перерасчете на 110 V получается дробное число ламп. Пример: для заданного общего светового потока в 210 000 Lm при лампах 220 V 1000 W достаточно по таблице фирмы „Osram“ 210 000 : 21 000 = 10 шт.; при лампах 110 V 1000 W требуется 210 000 : 22 000 = 9,55 шт., т. е. практически те же 10 шт. Там же, где получается избыток установленной мощности ламп 220 V, против 120 V, порядка 10%, он все равно компенсируется более высокой (приблизительно на 10%) стоимостью 1 kWh у зажимов ламп 120 V вследствие более высокой стоимости сети и аппаратуры 120 V и омических потерь в ней, каковые повышают себестоимость 1 kWh. Если не принять во внимание этого обстоятельства и не учитывать того факта, что дополнительная затрата на сеть 120 V должна ложиться на потребителя, то можно прийти к парадоксальному выводу, будто дополнительное количество меди доставляется из какого-то неизвестного и притом бесплатного источника.

Попутно заметим, что в связи с наблюдающимся усиленным ростом наружного освещения, в особенности прожекторного (заливающим светом), вырастает и относительная и абсолютная доля участия мощных ламп в общем балансе городской световой нагрузки, а потому никоим образом нельзя обобщать цифру в 11,1% как характеристику меньшей выгодности 220-V ламп.

Принципиально неправильно приспособляться к меньшему совершенству ламп на 220 V путем снижения величины рабочего напряжения сети и затраты излишней меди, тем более что техника изготовления ламп непрерывно совершенствуется. Перспективы развития новых более экономичных источников света (газовые



Рост светотдачи электрических 40-W ламп на 110 V в САСШ

лампы и т. п.) громадны. В течение 1932 г. были сконструированы фирмой Philips в Голландии лампы люминесцентного света с парами натрия. Такие лампы, увеличив на 100% видимость предметов, дали 66% экономии электроэнергии, т. е. в итоге оказываются в 1.66 раза экономичнее обыкновенных ламп накаливания. Такие лампы с парами натрия установлены на автомобильной дороге в Голландии между городами Маастрихт и Роттердам и вдоль одного шоссе в Англии<sup>8)</sup>.

На диаграмме рис. 3, заимствованной из журнала "Electrical World", 1933 № 3, изображена кривая роста светотдачи американских ламп 40 W 110 V в люменах на 1 W за последние 10 лет. Приращение светотдачи за этот период составляет 11,6%. Кривая приведена лишь как иллюстрация для отражения общего процесса непрерывного технического совершенствования всех типов ламп накаливания при очевидном условии — сохранении их прежней продолжительности горения. Процесс усовершенствования ламп ведет также и к тому, что разница в светотдаче 110 и 220-V ламп постепенно уменьшается.

#### Вопрос о напряжении для распределительных сетей за границей

Теперь переходим к рассмотрению того, в каком положении находится вопрос о напряжении для распределительных сетей за границей. Характерно отметить, что проф. Хрущов ссылается исключительно на свои наблюдения, игнорируя все, что сделано в этом направлении как у нас, так и за границей. Трудно сказать, насколько это намеренно, но во всяком случае можно констатировать, что проф. Хрущов отвергает всякий опыт и исследования кроме своих собственных и, таким образом, остается в стороне от уже давно сделанной работы и положительной работы.

Сначала посмотрим, какую оценку получила методика проф. Хрущова и его подход к решению вопроса в таком авторитетном журнале, как "ETZ"<sup>9)</sup>. Референт говорит, что автор частично пользуется необоснованными предположениями и потому приходит к неверным заключениям. Разница в светотдаче ламп на 110 и 220 V достигается только у некоторых их типов того высокого напряжения, которое "автор обобщил для всех видов ламп, применив его в основу своих подсчетов. У большинства видов ламп (т. е. для разной силы света) разница в светотдаче при 110 и 220 V значительно меньше". Далее референт указывает, что при современном методе конструирования и калибровки ламп соответственно потребляемой ими мощности разница между двумя напряжениями сказывается не в повышенном потреблении энергии, а в несколько меньшей эффективности свечения. Затем, рассматриваемые проф. Хрущовым

сети с исключительно осветительной нагрузкой в действительности редко встречаются. В установках же с световой, силовой и термической нагрузками (нагревательные приборы) получаются совершенно иные соотношения. Наконец, прогресс в технике лампостроения идет очень быстро, и потому ламповый вопрос вряд ли может служить препятствием к распространению системы 380/220 V. По этим основаниям немецкий референт считает, что выводы проф. Хрущова не имеют практического значения.

Суровую критику своих положений со стороны "неизвестного немецкого референта" проф. Хрущов считает почему-то мнением отдельной группы и притом не крупных специалистов в Германии и утешает себя надеждой, "что для крупных специалистов, каких в Германии достаточно, неправильность заключения (рецензента) слишком ясна". Остается только удивляться, почему же в практике постройки сетей как фирмами, так и коммунальными органами и притом не только в Германии, но и в Швейцарии, Швеции, Дании, Польше (а за последнее время во Франции и Англии) утверждается исключительно напряжение 380/220 V.

Инж. Burger, руководитель отдела по проектированию крупных городских сетей у SSW<sup>10)</sup>, говорит: "В области распределительных сетей господство остается за напряжением 380/220 V. В будущем при больших плотностях нагрузки безусловно потребуются применять указанное напряжение, как это подтверждается целым рядом сделанных по данному поводу подсчетов. Нет никаких оснований из соображений безопасности спускаться ниже этого напряжения. Электрический ток может быть опасным при всяких напряжениях свыше 20 V. Число несчастных случаев на электрических установках относительно невелико, особенно, если сравнить его с цифрами соответствующих несчастных случаев от газа или на городском транспорте". Сравнивая, далее, системы проводок при различных напряжениях, Burger приводит данные о числе трансформаторных киосков, приходящихся на 1 km<sup>2</sup> (табл. 5):

Таблица 5

Сечение распределительных проводов mm <sup>2</sup>	Число трансформаторных киосков при системе:			Принятая плотность нагрузки W/m <sup>2</sup>
	трехпроводная 110 V	четырёхпроводная 220/127 V или 3 220 V	четырёхпроводная 380/220 V	
50	18	4	1,4	4,0
95	11	3	0,9	4,6
150	9	2	0,7	5,4
240	7	2	0,63	6,7

Эта таблица показывает, что при прочих равных условиях требуемое число трансформаторных киосков при 220/127 V будет в 3 раза больше, чем при 380/220 V. Какие практические последствия отсюда вытекают, будет рассмотрено ниже.

Далее О. Burger отмечает консерватизм в системах городских распределительных сетей в САСШ, где, как известно, до сих пор еще широко распространены в силу исторических причин напряжения 3×115 V и 208/127 V и продолжают существовать трехпроводные сети однофазного тока (с нулевым проводом от средней точки обмотки трансформатора), сети двухфазного тока, пятипроводные сети и прочие, явно устаревшие и нецелесообразные системы распределительных сетей. "Можно с уверенностью считать", — резюмирует Burger, — "что принятое в европейской практике простое

и четкое применение системы трехфазного тока 380/220 V отвечает всем требованиям и со временем будет признано и в Америке".

Проф. Niethammer также называет систему 380/220 V „наиболее распространенной в настоящее время“<sup>11)</sup>.

В Швейцарии, как и в Германии, система 380/220 V уже является официально предписанной<sup>12)</sup>. В Германии из 44 000 городов и сел 90% применяют лампы 220 V. Все новые установки в Германии, Швейцарии, Дании и Польше выполняются по системе 380/220 V.

В отчете швейцарского инспектора по установкам сильного тока отмечается<sup>13)</sup> „тенденция старые низковольтные распределительные сети переоборудовать на более высокие напряжения (380/220 V) в целях уменьшения потерь в сети и для поддержания по возможности равномерного напряжения в разных точках“.

То положение, что потери энергии в сетях 220 V при разных условиях будут всегда меньше, чем в соответствующих сетях на 110—120 V, нетрудно доказать в самой общей форме. Мы здесь ограничимся лишь следующим указанием: при расчете распределительной сети 220 V и вследствие неизбежных округлений сечений до нормальных по стандарту, а также вследствие того, что ниже определенных сечений (4—6 мм<sup>2</sup>) в воздушных сетях спускаться нельзя, практически реальный вес сети всегда будет выше теоретического веса, получаемого пересчетом веса сети 110—120 V при равных заданиях. Отсюда следует, что в отношении потерь энергии сеть 220 V будет всегда находиться в лучших условиях, чем сеть 110—120 V.

В сетях на 220 V уменьшаются не только потери энергии, значительно сглаживаются также и колебания напряжения в них при почти в 3 раза меньшем количестве трансформаторных киосков.

Очень большое внимание было уделено вопросу о системе распределительных сетей в Англии в связи с проводимой там реконструкцией чрезвычайно различных и устаревших сетей для населенных мест. Учитывая громадный рост плотности нагрузки, главным образом, за счет электрификации быта, О-во английских инженеров-электриков решило применять для новых мощных сетей систему 400/231 V как единственно позволяющую экономично распределять большие мощности между потребителями<sup>14)</sup>. Любопытно отметить, что в развернувшихся по этому вопросу прениях некоторые из выступавших рекомендовали применение даже более высокого напряжения, а именно, 450/250 V, так как по их подсчетам это дает дальнейшую экономию в 2%<sup>15)</sup>.

<sup>11)</sup> „VDI“, 1932, № 25, стр. 608.

<sup>12)</sup> Президиум Союза Швейцарских электрических станций циркуляром в „Elgawe Tagesfragen“ (№ 57) предписал все сети населенных мест переводить на 380/220 V. В том же органе (1932, № 61) опубликовано аналогичное указание по отношению к сетям в Германии.

<sup>13)</sup> „Bulletin des Schweiz. „El. Vereines“ 1931, № 8.

<sup>14)</sup> См. доклад Beard and Haldane

<sup>15)</sup> См. „Journal of IEE“ 1927, Vol. 65, стр. 970.

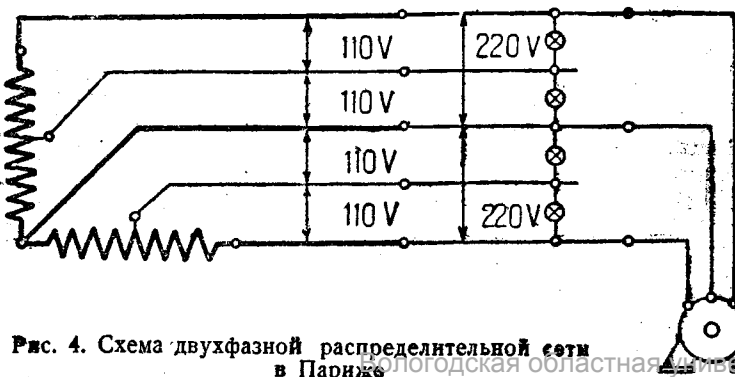


Рис. 4. Схема двухфазной распределительной сети в Париже

По статистике на 1 января 1933 г.<sup>16)</sup> из общего 350 английских коммунальных электростанций 340 97% имеют напряжение осветительных сетей 220 V.

Наконец, в ноябре 1932 г. опубликована схема реконструкции английских городских сетей постоянного тока на основе перехода к единой стандартной системе 400/231 V<sup>17)</sup>.

В отношении распределительных сетей Франции наблюдаем неоднородную картину. С одной стороны новые установки и, особенно в сельских местностях, начинают применять четырехпроводную систему 380/220 V, с другой стороны, имеется еще достаточно большое количество сетей с напряжением 110 V. Многие из этих сетей носят такой же архаический характер, как и американские. Такова, например, пятипроводная система 4×110 V двухфазного тока в Париже, у которой из трех главных проводов выведены еще 2 нулевых средних точек обмоток каждой фазы. Все лампы включаются между главным и нулевым проводом одной фазы на 110 V, а моторы включаются на три главных провода, напряжение между которыми составляет  $2 \times 110 = 220$  V (рис. 4). Нецелесообразность такой системы очевидна; однако, по видимому, необходимость больших капиталовложений препятствует ее реконструкции.

Другая распределительная сеть, обслуживающая часть Парижа, выполнена по четырехпроводной системе 190/110 V. Плотность нагрузки достигает 4,5 W/м<sup>2</sup> и, следовательно, один трансформаторный киоск мощностью в 400 kVA может обслуживать площадь не более чем 0,09—0,1 км<sup>2</sup> (ср. табл. 5); заметим, мощность трансформаторного киоска ограничивается количеством и сечением отходящих от него низковольтных линий. Поэтому вследствие низкого напряжения в сети здесь возникает еще одно большое практическое затруднение, о котором сторонники системы 220/127 V всегда забывают. В условиях города чрезвычайно трудно заместить большое число трансформаторных питающих пунктов, ибо каждый квадратный метр площади либо уже использован, либо является весьма ценным. Villiers, описывающий парижскую сеть, приходит к выводу, что при наличии низкого напряжения в сети на будущее время не остается иного выхода, как вступить в соглашение с архитекторами и строителями для того, чтобы при постройке новых домов уже заранее в них предусматривались специальные помещения для трансформаторных питающих пунктов<sup>18)</sup>. Очевидно, что такой выход из положения обходится недешево.

Я полагаю, что приведенных мною материалов более чем достаточно для того, чтобы вопрос о выборе напряжения для распределительных сетей, как вопрос технико-экономический, был бы у нас, наконец, снят с обсуждения; всякого же рода пропаганда низкого напряжения 220/127 V и родственных ему систем как дезориентирующая и идущая в разрез с интересами народного хозяйства должна быть прекращена.

### Система 380/220 V и вопросы безопасности

Соображения, касающиеся условий безопасности в системе 380—220 V (с заземленным нулем), в отличие от экономического сравнения ее с системой 220/127 V являются вполне обоснованными и заслуживают самого серьезного внимания.

Безопасность установок в системе 380—220 V зависит от качества и тщательности выполнения их, от соблюдения всех существующих на этот счет предписаний от качества применяемых инсталляционных материалов

<sup>16)</sup> См. приложение к „Electrical Times“ от 2 февраля 1933 г.

<sup>17)</sup> „Journal of IEE“ 1932 Vol. 71, стр. 737—775.

<sup>18)</sup> „Electrical Times“, 18 июня 1931, стр. 1109—1110.

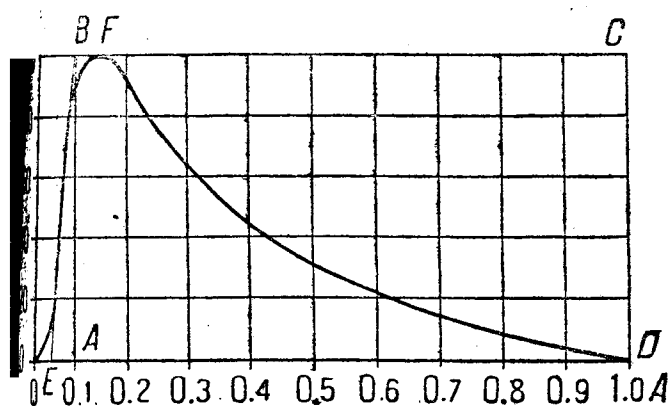


Рис. 5

иконец, и не в последней степени, от квалификации и культурного уровня потребителей, пользующихся установками 380/220 V.

У многих электротехников в Союзе существует предрассудок представление о якобы большой опасности сети 380/220 V, основанное на недостаточном знании со статистикой несчастных случаев от электричества или на неправильном пользовании цифрами статистики. Ссылаются на ряд несчастных случаев в сетях 380/220 V. При ближайшей проверке фактов выяснилось, что речь идет о случаях, которые имели место на временных проводках 380/220 V, плохого качества, которые были выполнены наспех с нарушением основных и элементарных требований безопасности (не была заземлена нулевая точка и т. д.).

Наоборот, следует признать, что опыт эксплуатации установок в СССР установок 380/220 V как городского и сельского типа, так и фабрично-заводских, по данным, имеющимся в Наркомхозе и Наркомтруде, в отношении числа несчастных случаев дает более благоприятные результаты, чем можно было ожидать.

Так, например, по данным на 1 января 1932 г. следующие населенные места в СССР имели распределительные сети в 380/220 V: Витебск, Вязьма, Бобруйск, Рыльск, Россошь, Златоуст, Камышин, Камень, Новоуральск, Чита, Острожск, Старобельск, Чугуев, Харьков, Хмельник, Купянск, Проскуров, Червоное и др. Многие из этих сетей находятся в эксплуатации уже 5—6 лет и, тем не менее, никакого „катастрофического“ числа несчастных случаев на них, которое бы отличалось от обычного, среднего процента установках более низкого напряжения, здесь не наблюдается. В перечисленных сетях не зарегистрировано все это время никаких аварий, которые бы заставили привлечь к себе внимание наших технических работников. И этот факт приобретает тем более существенное значение, что большинство из перечисленных сетей принадлежит небольшим провинциальным городам, являющимся скорее населенными местами сельского типа, у населения которых едва ли можно предполагать наличие квалификации или опыта в обращении с электрическими установками.

В общем говоря, условия безопасности в электрических установках и по настоящее время не могут считаться окончательно выясненными. Особенно это относится именно к установкам 380/220 V. Ввиду существующего большого расхождения во мнениях на этот счет считаю нелишним привести следующий анализ условий безопасности в сетях низких напряжений<sup>(19)</sup>, позволяющий, что далеко не во всех случаях установка

380/220 V может быть безоговорочно признана более опасной, чем, например, установка 220/127 V.

Принято считать, что опасность переменного тока для человеческой жизни возрастает по мере роста напряжения или что самое напряжение вызывает повреждение человеческого тела, что влечет за собой смертельный исход. Однако это предположение по имеющимся опытным данным не подтверждается. Решающим фактором в вопросе остановки деятельности сердца или дыхания, а в место с этим наступления смерти, является ток, проходящий через тело. Величина тока определяется омическим сопротивлением, которым обладает человеческое тело, в особенности в сырых помещениях. Однако опасность для жизни никоим образом не увеличивается с возрастанием силы тока. При опытах, произведенных с животными и при измерениях, сделанных во время казней на электрическом стуле, выяснилось, что нижним пределом опасности для жизни является приблизительно 0,1 A, а верхним пределом — около 1 A; более высокая сила тока может и не повлечь за собой смертельного исхода, и начиная от предельного тока, такое прикосновение становится неопасным. Таким образом, грубые пределы опасной зоны могли бы быть изображены прямоугольником ABCD на рис. 5.

Вероятность смертельного исхода несчастного случая представляется некоторой кривой, которая, начинаясь с нуля, при определенной силе тока достигает своего максимума, а потом снова падает до нуля. Назовем эту вероятность в процентах „опасностью“, следовательно, например, опасность в 60% обозначает, что из 100 несчастных случаев 60 будут смертельными. Если мы примем во втором приближении, что ток, при котором опасность равна нулю, составляет около 0,05 A и что до 0,1 A опасность возрастает по прямой линии, то полученная таким образом восходящая ветвь этой кривой EB будет иметь закругление у начала координат и в месте касания (100%), и кривая примет вполне правдоподобный вид. Тогда максимальное значение тока будет около 0,14 A. Что касается опускающейся ветви „кривой опасности“, то здесь трудно сказать что-либо определенное, можно лишь строить предположения.

Во всяком случае наблюдения показывают, что при сильных ожогах, обусловленных большой силой тока, несчастные случаи не имеют смертельного исхода и, наоборот, в случаях смерти от электрического тока наблюдаются лишь слабые ожоги или полное отсутствие их (при этом подразумеваются только непосредственные смертельные случаи, а не смерть, являющаяся следствием сильных ожогов). Поэтому „кривая опасности“ в области низких сил токов, начиная от максимального значения, должна была бы довольно резко падать примерно по FD (рис. 5).

В случае низких напряжений, когда можно ожидать и незначительные по величине токи, падающая ветвь кривой имеет меньшее значение, чем восходящая часть, которая на рис. 6 изображена в увеличенном масштабе абсцисс. Эта кривая указывает на то, что ток до 0,025 A может рассматриваться как неопасный для жизни человека и что, далее, при возрастании тока опасность

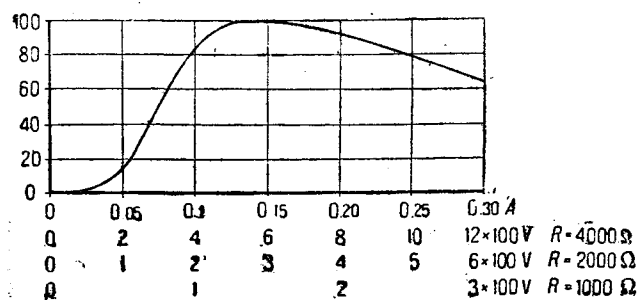


Рис. 6

резко увеличивается, достигая примерно при 0,14 A своего максимального значения и что после этого степень опасности снова понижается, доходя до нуля (рис. 5).

Сопротивление человеческого тела в сырых помещениях составляет примерно от 1 000 до 4 000  $\Omega$ .

На рис. 6 изображена „кривая опасности“, причем по оси абсцисс отложены токи и указаны напряжения, при которых эти токи возникают для трех сопротивлений в 1 000, 2 000 и 4 000  $\Omega$ . Согласно рис. 6 получается, что безусловная опасность смерти будет иметь место при напряжений 560 V и сопротивлении 4 000  $\Omega$ , 280 V и 2 000  $\Omega$ , 140 V и 1 000  $\Omega$ . На рис. 6 могут быть зарисованы одна над другой, в том же масштабе как и абсцисса, „кривые опасности“ различных напряжений для вышеуказанных трех сопротивлений (рис. 7). Эти три кривые показывают, что, смотря по сопротивлению человеческого тела, одни и те же напряжения могут представлять совершенно различные опасности.

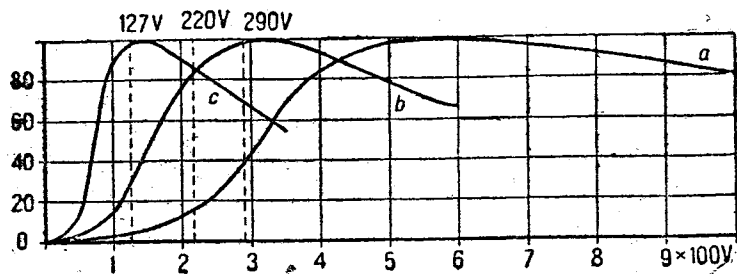


Рис. 7

Для суммарного сопротивления человеческого тела решающим является переходное сопротивление. Это переходное сопротивление незначительно при влажной и потной покрытой соляным раствором поверхности кожи.

Для большей наглядности в табл. 6 приведены данные о степени опасности наиболее распространенных напряжений: 127, 220 и 290 V по отношению к земле.

Таблица 6

Сопротивление человеческого тела	Опасность в % при		
	127 V	220 V	290 V
4 000	2	16	40
2 000	30	90	100
1 000	100	85	70

Таким образом, получается вывод (хотя он и противоречит общераспространенному мнению), что напряжение 127 V при известных обстоятельствах безусловно влечет смерть ( $R=1\,000\,\Omega$ ), в то время как в других случаях напряжение 290 V (при  $R=4\,000\,\Omega$ ) дает только опасность, оцениваемую в 40%. Однако практические наблюдения целиком подтверждают эти выводы, потому что наблюдались такие случаи, которые не оканчивались смертью, но по роду ожогов можно было сделать заключение о том, что сила тока была свыше 0,1 A.

О некоторых ближайших перспективах в развитии распределительных сетей в связи с напряжением 380/220 V

Выше уже приводились некоторые данные о непрерывно наблюдающемся прогрессе светотехники. Несомненно, что результаты этого прогресса могут повлечь за собой самые радикальные изменения в той структуре распределительных сетей, к которой мы привыкли как к нормальной, обычной. В первую очередь успехи светотехники должны будут отразиться на величине присоединяемой мощности, способе питания источников света и на величине их напряжения. Однако мы здесь

не будем подробно останавливаться на этой стороне вопроса. Равным образом мы исключим из рассмотрения и систему многократно-замкнутой распределительной сети для больших городов так называемую „сетку с жесткими узлами“, уже неоднократно описанную в нашей литературе<sup>20</sup>). Заметим лишь, что в основе эксплуатации сетки выжигание дефектов в кабелях, согласно опытам О-ва BEVAG в Берлине, является столь же успешным в сетях с напряжением 380/220 V, как и в американских сетях 208/120 V, куда оно было заимствовано.

Ниже мы приводим некоторые предложения из области конструкции сетей, не известные до сих пор широким кругам наших электротехников, но заслуживающие внимания и могущие быть реализованными в отдельных случаях при наличии определенных местных условий или соответствующих технико-экономических предпосылок.

Первая схема была выдвинута инж. О. Noldin<sup>21</sup>) еще в 1929 г. Noldin предложил нормировать для распределительных сетей четырехпроводную систему 760/440 V, т. е. 2 раза 380/220 V. Непосредственно у потребителей устанавливаются автотрансформаторы малой мощности (редукторы), понижающие напряжение 380/220 V для питания ламп и бытовой нагрузки. По мнению Noldin'a вся внешняя проводка, вводы и прочее оборудование для системы 760/440 V могут быть выполнены еще низковольтным инсталляционным материалом. Общая же экономия меди, достигаемая благодаря этой системе, составляет 50%. В таком виде введение напряжения 760/440 V представляется более обоснованным, чем, например, сохранение в стандартном напряжении 500 V. Насколько мне известно, система Noldin'a нигде еще неосуществлена.

Следующая схема относится, главным образом, к существующим распределительным сетям 220/127 V в населенных местах, отличающихся большой протяженностью (провинциальные города, пригороды, сельские местности), у которых с течением времени происходит либо увеличение нагрузки, либо добавление новых участков. Вследствие низкой величины напряжения такие сети оказываются в чрезвычайно тяжелых условиях эксплуатации.

Усиление таких сетей путем замены существующих проводов проводами более крупного сечения неэкономично и не приводит к желательным результатам, так, например, при проводах от 50 мм<sup>2</sup> и выше уменьшается только омическая составляющая падения напряжения, но не индуктивная. Реконструкция сетей путем перехода на более высокое напряжение (380/220 V) сразу наталкивается на трудности технического и экономического порядка. Приходится менять все лампы, почти всю аппаратуру, перематывать статоры моторов, если они не допускают переключения, заменять катушки напряжения у счетчиков или устанавливать целиком новые счетчики и т. д.

Другой, правда, часто оспариваемый путь для усиления или облегчения указанных неудобств заключается в добавлении новых питательных пунктов высокого напряжения при сохранении распределительной сети 220/127 V. Но для этого нужны значительные затраты на высоковольтные линии и трансформаторные киоски, и все же результаты бывают не особенно удачны, если например, не удастся приблизить новый киоск к центру тяжести нагрузки. С таким положением приходится считаться, когда речь идет о воздушной линии высокого напряжения в сильно застроенной местности.

Удачное решение рассматриваемой задачи было недавно предложено в Германии инж. Т. Radtke, и он

<sup>20</sup>) См. например, „Западение техники“, 1932,

<sup>21</sup>) „E и M 1929“, № 8, стр. 155.



ствлено в нескольких сетях<sup>22</sup>). Это решение состоит в том, что параллельно с существующей системой проводов 220/127 V и на общих с ними опорах прокладываются еще три провода, так что получается всего 7 проводов или две четырехпроводные системы с общим нулевым проводом. Напряжение второй системы выбирается ниже 1000 V, например, 380/220 или 760/440 V, что позволяет обойтись в оборудовании специфически низковольтной аппаратурой. В отдельных пунктах, смотря по величине нагрузки и по местным условиям, обе системы связываются между собой через уравнильные трансформаторы. Таким путем получается использование меди дополнительно подведенных проводов чуть ли не в 15—20 раз лучше, чем при напряжении 220/127 V. Эти провода могут быть железными. В закрытых киосках выгодно устанавливать уравнильные трансформаторы сухого типа. Прочие преимущества описанной схемы: дешевизна, высокая пропускная способность, разгрузка нулевого провода, хорошее регулирование напряжения в разных частях сети, допустимость значительной однофазной нагрузки. Схема Radtke запатентована в Германии и уже вполне хорошо зарекомендовала себя в эксплуатации. Наиболее рациональной схемой распределительной сети, обеспечивающей в максимальной степени интересы потребителя, будет такая схема, при которой соблюдается принцип „высокое напряжение в сети, низкое напряжение у потребителя, т. е. у ламп“. Такая схема обуславливает при минимальных затратах на сеть наибольшую степень безопасности и высокую экономичность источников света. По данным фирмы „Osram“ зависимость светотдачи лампы от их рабочего напряжения приведена в табл. 7.

Таблица 7  
Светотдача ламп накаливания

Мощность лампы W	15	40	60	100	15	40	60	100
Напряжение	Световой поток в Lm				Удельный световой поток в Lm на 1 W			
24 V	210	690	1 150	1 950	13,5	16,8	18,1	19,4
42 V	170	590	950	1 800	11,4	14,9	16,2	17,8
110 V	150	485	840	1 550	9,9	12,2	13,9	15,5
220 V	130	375	690	1 350	8,5	9,5	11,2	13,2

Из этих данных вытекает, например, что 24-V лампы дают в 1 1/2 раза больший световой поток, чем 220-V.

Это объясняется тем фактом, что лампы на 24 V (и на 42 V) имеют более толстые нити, при которых небольшие неточности в толщине нитей, неизбежные при массовом изготовлении, менее ощутимы, так что нити получают более однородными и допускают более высокую нагрузку током. Но так как излучаемый нитью световой поток чрезвычайно резко возрастает при повышении плотности тока в нити, то стремятся по возможности поднять ее температуру, что, естественно, скорее достигается при однородном сечении толстой нити, чем при тонкой. Сверх того, лампы столь низких напряжений более прочны, менее чувствительны к колебаниям, имеют больший срок службы и стоят столько же, сколько и 110-V, а иногда даже и дешевле.

Отсюда возникает схема электроснабжения в населенных местах, предложенная за последние годы рядом авторов<sup>23</sup>). Наружная проводка и вводы рассчитываются на 380/220 V; питание ламп происходит через трансформатор 380/24 V, рассчитанный на общую мощность установленных у абонента ламп. Если, для примера, абоненту требуется при 220 V лампы суммарной мощностью в 1500 W, то при 24 V он получит такой же эффект, установив ламп всего на 1000 W. Общие потери в редукторе можно принять в 8%, так что полная расходуемая мощность будет 1080 W вместо 1500. Кроме того, можно предусмотреть выключение редуктора со стороны 380 (или 220) V во избежание потерь холостого хода в нем в то время, когда лампы не горят.

На первый взгляд предлагаемая система может вызвать некоторый перерасход меди во внутренней низковольтной проводке. Следует, однако, иметь в виду, что систему 380/24 V предполагается применять, главным образом, в небольших помещениях с 2—3 лампочками в селах, на окраинах городов и т. п., в которых длины проводки сравнительно невелики. Наконец, применяемые в настоящее время для внутренней проводки провода и шнуры по плотности тока оказываются далеко неиспользованы, например, шнуры и провода сечением 0,75 мм<sup>2</sup> по нормам допускают нагрузку в 9 A, что при 24 V соответствует мощности 215 W. Это дает возможность нагружать 24-V проводку до пределов, допускаемых по падению напряжения. На практический путь применения системы 380/220 V с редукторами на 24 V стали французские районные сети, применяющие ее в отдельных местностях, преимущественно, в целях безопасности.

В заключение отметим, что описанные здесь 3 системы распределительных сетей заслуживают самого серьезного внимания и с точки зрения экономии меди.

## Еще по вопросу о механическом расчете шин

Инж. В. Я. Иносов  
г. Киев

В № 14 журнала „Электричество“ за 1932 г. инж. Зингерман в статье „К вопросу о механическом расчете шин“ дал критику метода расчета шины как гибкой нити, предложенного мною в № 8 журнала „Электрические станции“ за 1931 г. К сожалению, инж. Зингерман не понял сути метода расчета шины как гибкой нити, и все его заключения основаны на этом ошибочном понимании предложенного метода. Суть его в следующем.

Шина или упругая нить закреплена наглухо на своих концах. В спокойном состоянии ее длина равна расстоянию между точками крепления. Ось шины, не учитывая действия силы тяжести вследствие ее жесткости, будет прямолинейна. Никаких напряжений в ней не будет. Возникающие при коротком замыкании динамические усилия (нормально отсутствующие) стремятся согнуть шину. Шина прогибается. Так как дуга длиннее хорды, а шина закреплена на концах наглухо, то в материале шины должны появиться изгибающие усилия. Возникнут напряжения, которые будут во-

зрастать с возрастанием провеса. Ничего общего с подвешенным проводом, находящимся в равновесии и подчиняющимся, как полагают инж. Зингерман, уравнению  $f = \frac{qL^2}{8p}$  здесь нет.

Инж. Зингерман делает принципиальную ошибку, заменяя формулу

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{16q^2 L^2}{24\omega^2} E}$$

формулой

$$\sqrt{\frac{q^2 L^2}{96\omega^2} E}.$$

Именно уравнение гибкой нити  $f = \frac{qL^2}{8p}$  не может быть применено для нити, не находящейся в равновесии, каким является крайнее положение шины, в какое она пришла при внезапно приложенной нагрузке.

По материалам, любезно предоставленным автором схемы. См. „Licht und Lampe“, 1931, стр. 385; „Electrical Times“ 18.11.1931, стр. 1110; „L'Industrie Electrique“, 1931, стр. 366 и 380.

Указанная формула легко выводится следующим образом (см. текст моей статьи, стр. 533):

$$n = eE = \frac{8}{3} E \frac{f^2}{l^2} = \frac{8}{3} E \frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{12^2 q^2 L^8}{64^2 E^2 \omega^2}} = \sqrt{\frac{16 q^2 L^2 E}{24 \omega^2}}$$

Сказанного достаточно, чтобы показать, что инж. Зингерман, не поняв сути дела, заключил, что рассуждения ведутся, как для нерастяжимой нити, в которой напряжение обратно пропорционально квадрату (и только в состоянии равновесия!). Он не учел, что при закрепленных концах при прогибе действительно будет возникать реакция опоры  $X$  тем большая, чем больше прогиб.

Не имея, к сожалению, возможности обсуждать прочие „спорные“ положения и методологические ошибки моего метода, замеченные инж. Зингерманом, но им не вскрытые, считаю нужным обратить вни-

мание на необходимость весьма серьезного подхода к таким вопросам, ибо, как указано в моей статье, речь идет о значительной экономии дефицитного материала — меди.

Несомненно, что расчет тонких шин (которых только и касался предлагаемый метод) методом „жесткой балки“ дает часто абсурдные результаты и приводит к излишним затратам меди.

Представляется совершенно неубедительным аргументом в этом вопросе приводимый инж. Зингерманом длинный список фирм и фирм, рассчитывающих шины (каких сечений и при каких обстоятельствах?) как жесткую балку.

Вопрос о правильности того или иного подхода к расчету шин и, в частности, моего метода, может быть решен лишь экспериментом. Поэтому было бы желательным, чтобы ЦЭС, обсуждавший этот вопрос, и Главэнерго поручили научно-исследовательским институтам постановку надлежащих опытов и исследований. Помимо этого, вопрос имеет крупное народнохозяйственное значение.

## По поводу возражений инженера Иносова

Инж. А. Зингерман  
г. Ленинград

Метод расчета шин как гибкой растяжимой нити, предложенный инж. Иносовым, как видно из его возражений, основан на том, что нагруженная шина прогибается, а так как изогнутая ось шины длиннее неизогнутой, то материал шины получит растяжение. Это основное положение следовало бы прежде всего инж. Иносову доказать, почему материал шины получит одни только растяжения, а не еще какие-нибудь другие деформации, тем более, что шинные материалы, в особенности алюминий, работают на сжатие значительно хуже, чем на растяжение. Положение об одной только деформации растяжения у шин предполагает, что у опоры шина получит резкий изгиб. Но тогда деформация шины не может быть упругой, и шина после прекращения действия силы не вернется в первоначальное состояние. Ни то ни другое в действительности не наблюдается. Но, допустим, мы согласились бы с основным положением инж. Иносова, или просто хотели бы определить статические напряжения в гибкой горизонтально подвешенной нити, вызванные дополнительной нагрузкой, приложенной после ее подвеса. Но и для этого случая предложенная инж. Иносовым формула.

$$n = \sqrt[3]{\frac{q^2 l^2}{24 \omega^2}} E$$

не годится. Действительно, формула для провеса гибкой нити, как

$$f = \frac{ql^2}{8p}$$

известно, выводится из условия абсолютной нерастяжимости гибкой нити. Следовательно, приравнять выражения для тяжения (или провеса) шины, выведенного из условия абсолютной нерастяжимости, с выражением для тяжения (или прогиба), выведенных инж. Иносовым исключительно из условия растяжения шины, для их совместного решения, как это делает инж. Иносов, по меньшей мере методологически не выдержано. Это приводит к многозначному решению вопроса при определении динамических напряжений в шине. Динамические напряжения можно определить по двум совершенно различным формулам.

Первая формула

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{16 q^2 l^2}{24 \omega^2}} E$$

выведенная инж. Иносовым, и вторая

$$n_d = \sqrt[3]{\frac{q^2 l^2}{96 \omega^2}} E,$$

которая выводится таким же точно образом, каким выведена инж. Иносовым формула для определения статических напряжений.

Правда, вывод последней формулы инж. Иносов считает неприемлемым для определения динамического напряжения. Но это возражение, очевидно, вызвано непониманием инж. Иносовым расчета динамических напряжений. Определение динамического прогиба шины было сделано инж. Иносовым из условия равенства работы внешних сил работе сил упругости. А это значит, что внешние силы целиком уравновешиваются силами упругости, т. е. шина находится в равновесии. Это, действительно, имеет место в момент максимального прогиба шины, и поэтому определение максимальных напряжений при динамической нагрузке сводится к определению напряжений при эквивалентно большей статической нагрузке. Для этого вводят коэффициент динамичности, который далеко не всегда равен двум, и, в частности, при расчетах шин может быть меньше единицы. Если правильно утверждение инж. Иносова, что уравнение

$$f = \frac{ql^2}{8p}$$

для вывода динамических напряжений неприменимо, так и крайнее положение шины не есть положение равновесия, так неверным является его уравнение  $Q = V$ , где  $Q$  — работа внешних сил, а  $V$  — потенциальная энергия деформированной шины, а следовательно, неверен и его вывод динамических напряжений. В момент неравновесия уравнение движения составляется с помощью принципа Даламбера или же энергетического уравнения  $Q = V + T$ , где  $T$  — кинетическая энергия шины.

Таким образом, если бы возражение инж. Иносова было правым, то оно было бы направлено против собственного же вывода. Сравнительный анализ формул

$$n = \sqrt[3]{\frac{q^2 l^2}{24 \omega^2}} E \quad \text{и} \quad n_d = \sqrt[3]{\frac{q^2 l^2}{96 \omega^2}} E$$

и выводы, какие отсюда вытекают, были мною сделаны в моей статье и вторично я здесь на них останавливаться не буду.

Так как задачей моей статьи „К вопросу о механическом расчете шин“ не являлся критический анализ статьи инж. Иносова, и следовательно, не являлся скрывать все, на мой взгляд, спорные положения методологические ошибки этой статьи. Однако, поскольку этот вопрос сейчас затронут инж. Иносовым, я на них останавливаюсь.

При определении удлинения растянувшейся шины инж. Иносов принимает форму изогнутой шины за дугу окружности. Это не только произвольно, но явно не соответствует действительности. Известно, изогнутая ось шины будет приближаться к параболе, а не к дуге окружности. В дальнейших выводах инж. Иносов уже принимает ось изогнутой шины за параболу. Вывод, что из этой предположки выражение для работы внешних сил, которое вставляет удлинение шины, определенное им из предположения, что ось шины является дугой. Опять явная методологическая невыдержанность!

Остановимся еще на окончательных выводах инж. Иносова. Инж. Иносов нашел, что при длине пролета в 100 см и нагрузке в 2 кг/см границей применимости его формулы для медной шины круглого сечения является диаметр в 16 мм. Это уже показывает на малую практическую ценность этой формулы.

Здесь следует еще заметить, что вообще круглые шины не подходят для расчета на механическую прочность. Поэтому обратимся к практическим случаям и посмотрим, какие границы устанавливаются этой формулой для медных шин прямоугольного сечения при тех же условиях (пролет 100 см и нагрузка 2 кг/см). Для шин прямоугольного сечения  $b \times n$ , если нагрузка действует перпендикулярно к стороне  $b$ , формула будет иметь такой вид:

$$\frac{8^3 q^2 l^3 b h \cdot 12^3}{12 \cdot 384^3 E^2 b^3 h^3} = 1, \text{ или } b^2 h^8 \approx 40.$$

Отсюда можно составить следующую табличку для предельных размеров шин, к которым применим расчет растяжимой гибкой нити:

$b$ . . . . .	3	5	10	20	40	60	80	100 mm
$h$ . . . . .	12	19	16	13	11	10	9,5	9 mm

Результаты явно абсурдные.

Заканчивая на этом обсуждение возражений инж. Иносова, прошу попутно напечатать следующие исправления и дополнения моей статье.

Четвертый отдел моей статьи затрагивает вопрос о расчете изоляторов. Еще до выхода статьи я писал в редакцию и просил поместить этот отдел. К сожалению, очевидно по независимым от редакции обстоятельствам, это не было сделано. В этом отделе мною дана неправильная критика уравнений Шурига. Однако уравнение Шурига все же вызывают сомнения в их пригодности для расчета изоляторов.

1. Известно, что изогнутая ось стержня представляет собой весьма сложную кривую, которая может быть разложена на ряд гармонических кривых.



При расчете шин можно пренебрегать высшими гармониками при расчете изоляторов далеко не всегда это возможно. Исследования, произведенные инж. В. Б. Романовским<sup>1)</sup>, показали, что при статической нагрузке, равной 31% от полного усилия, изолируемого шинами на изоляторы, обуславливаются высшими гармониками. При динамической нагрузке усилия, передаваемые этими гармониками, еще более возрастают и могут достигнуть солидной величины. Таким образом пренебрегать высшими гармониками при расчете изоляторов, как это сделано у Шурига, нельзя. Для расчета изоляторов следует пользоваться более точными решениями.

Если же остановиться на приближенном решении, то и тогда решения Шурига дают не совсем правильные решения. Воспользуемся для решения этой задачи общим уравнением Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = Q_i$$

Для системы шин и изоляторов (всюду принимаем обозначения Шурига):

$$T = \frac{1}{2} M_b (\dot{Y}_b + \dot{Y}_s)^2 + \frac{1}{2} M_s \dot{Y}_s^2$$

$$V = \frac{1}{2} S_b Y_b^2 + \frac{1}{2} S_s Y_s^2$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{Y}_s} \right) = M_b (\ddot{Y}_b + \ddot{Y}_s) + M_s \ddot{Y}_s$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{Y}_b} \right) = M_b (\ddot{Y}_b + \ddot{Y}_s) + M_s \ddot{Y}_s$$

$$\frac{\partial T}{\partial Y_b} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial Y_s} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial Y_b} = S_b Y_b, \quad \frac{\partial V}{\partial Y_s} = S_s Y_s$$

$$Q_s \delta q_s = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} f(t) \delta Y_s dx,$$

$f(t)$  — электромагнитная сила на единицу длины пролета, а  $l$  — длина пролета. Так как

$$\delta_s = \delta Y_s \text{ и } \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} dx = l,$$

$$Q_s = f(t), \quad Q_s \delta q_s = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} f(t) \delta Y_b dx$$

$$Q_b = f(t) \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} X dx = b f(t)$$

$b$  — коэффициент, меньший единицы, зависящий от формы поперечной оси шины.

Основные уравнения будут

$$M_b (\ddot{Y}_b + \ddot{Y}_s) + S_b Y_b = b f(t),$$

$$M_b (\ddot{Y}_b + \ddot{Y}_s) + M_s \ddot{Y}_s + S_s Y_s = f(t).$$

Здесь  $f(t)$  — есть электромагнитная сила на весь пролет. Частное решение этих уравнений относительно  $Y_s$ , которое нас интересует, будет

$$Y_s = \frac{B F_0}{h_0^2} - \frac{\frac{4}{3} \left( B - \frac{1-b}{M_s} \omega^2 \right) F_0}{\omega^2 - g_0 \omega^2 + n_0^2} \cos \omega t + \frac{\frac{1}{3} \left( B - \frac{1-b}{M_s} 4\omega^2 \right)}{(2\omega)^2 - (2\omega)^2 g_0 + h_0^2} \cos 2\omega t$$

Принимая во внимание, что  $\frac{S_b}{M_b} = \omega_b^2$  есть угловая собственная частота только шин (при жестких опорах) и вводя обозначения  $\frac{\omega}{\omega_b} = u_b$ , а  $1-b = \beta$ , окончательно для коэффициента усилия  $p$  получим:

$$p = 1 + C_1 \cos q_1 t + C_2 \cos q_2 t + (1 - \beta u_b^2) C' \cos \omega t + (1 - 4\beta \omega_b^2) C'' \cos 2\omega t.$$

Как видно, последнее уравнение отличается от того, какое было получено Шуригом. Из последнего уравнения видно, что коэффициент зависит не только от отношения частоты тока к частотам свободных колебаний системы, но также и от отношения частоты тока к частоте свободных колебаний самих шин.

3. Ссылка некоторых авторов на то, что коэффициенты усилия, вычисленные Шуригом, по своей формуле совпадают с его же экспериментальными данными, не убедительна. Ни описание весьма сложных опытов, которые должны были производиться, ни их результаты нигде не опубликованы. С другой стороны, значения ряда коэффициентов, входящих в формулы Шурига ( $\alpha'$  и  $\alpha''$  — постоянные декремента сопротивления в свободных колебаниях,  $n_1$  и  $n_2$  — острота резонанса), произвольны. Кстати, здесь следует также отметить, что не все величины, входящие в формулы Шурига, определяются автором правильно, например, Шуригом определяется  $M_s$  как эквивалентная масса изолятора и части шины, увлекаемой им в движении. Как видно из выражения для кинетической энергии системы,  $M_s$  есть только эквивалентная масса изоляторов.

Ввиду того что механический расчет шин упирается в вопросы об экономии дефицитных материалов, все теоретические выводы безусловно нуждаются в весьма тщательной экспериментальной проверке. Подобные экспериментальные исследования в настоящее время уже ведутся в лаборатории проф. Смурова, и следует надеяться, что в недалеком будущем целый ряд спорных моментов получит достаточно веское решение.

## ОТ РЕДАКЦИИ

Признавая, что вопрос расчета шин на механическую прочность является весьма актуальным именно в настоящий момент, когда медь является остродефицитным материалом, редакция помещает дискуссию, посвященную этому вопросу между инж. Иносовым и инж. Зингерманом.

Соглашаясь с инж. Иносовым и инж. Зингерманом в том, что вопрос расчета шин следует подвергнуть изучению как с теоретической, так и с экспериментальной стороны, редакция со своей стороны отмечает, что несколько неубедительным является замечание инж. Зингермана о том, что если рассматривать шину как гибкую нить, то она должна после прогиба получить остаточные деформации. Ведь удлинение при рассмотрении шины как гибкой нити получается за счет растяжений. Сопротивлением изгибу, очевидно, в этом случае пренебрегают, а если это так, и если растяжение не выходит за пределы упругости, то шина должна притти в начальное исходное положение, когда нагрузка будет снята.

Неясны также замечания инж. Зингермана относительно того, что уравнение  $f = \frac{q l^2}{8P}$  выводится только из условий абсолютно нерастяжимой гибкой нити. Мог бы ее вывести и инж. Иносов, не ссылаясь на теорию гибких нитей. Действительно, инж. Иносов получил в своей статье выражение для угла  $\alpha$  (см. рисунок), а именно:

$$\alpha = \frac{4f}{l}$$

Нетрудно видеть, что из условий статического равновесия растянувшейся под нагрузкой  $q$  нити должно соблюдаться равенство:

$$q l = 2P' = 2P \sin \alpha = 2P \frac{4f}{l}$$

откуда, очевидно, вытекает, что

$$f = \frac{q l^2}{8P}$$

Таким образом эта формула может быть получена для деформированной под действием нагрузки нити как для дуги окружности. Соглашаясь с инж. Зингерманом в том, что инж. Иносов не пользовался в своей статье строгими математическими выкладками и делал допущения, редакция со своей стороны не видит еще в этом отрицательной стороны работы инж. Иносова, так как метод приближенных расчетов вполне применим в технике.

Признавая затронутые вопросы весьма актуальными и интересными, редакция ждет разрешения этих вопросов путем эксперимента и считает дальнейшую полемику до получения экспериментальных данных нецелесообразной.

# НОВОЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

## Ртутные выпрямители с сеточным управлением<sup>1)</sup>

Инж. А. З. Бейлин и инж. И. М. Иоффе

Ввиду того что выпрямители с управляемой сеткой открывают новые обширные области применения их в технике сильных токов, освещение этого вопроса в русской литературе является весьма необходимым и своевременным.

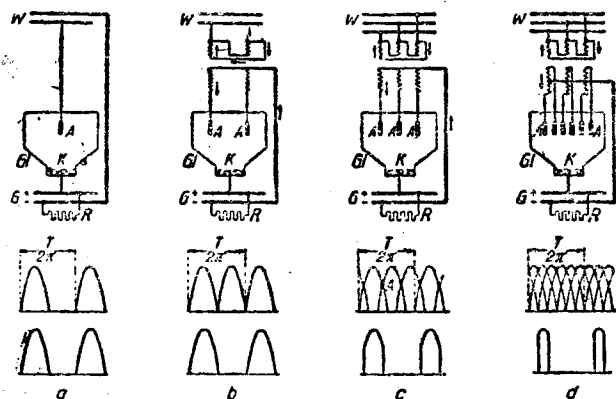


Рис. 1. Схемы и диаграммы токов ртутных выпрямителей без управляемой сетки.  $K$  — ртутный катод;  $A$  — анод;  $W$  — сеть переменного тока;  $G$  — сеть постоянного тока;  $R$  — сопротивление нагрузки

Для лучшего выяснения работы ртутного выпрямителя с управляемыми сетками следует предварительно кратко напомнить принципы работы нормального ртутного выпрямителя, не имеющего сетки, показанного в различных выполнениях на рис. 1. На фиг.  $a$  этого рисунка изображен однофазный ртутный выпрямитель. При зажигании вольтовой дуги на поверхности ртути образуется так называемое катодное пятно, которое излучает отрицательные электроны, стремящиеся под действием положительного электрического поля к аноду. Этим объясняется выпрямляющее действие дуги, при котором ртутный выпрямитель пропускает только положительную полуволну переменного тока, как это показано внизу под фиг. 1  $a$ . На фиг.  $b$  показан двухполосный выпрямитель, который дает возможность использовать обе полуволны переменного тока. На фиг.  $c$  трехфазный выпрямитель, а на фиг.  $d$  шестиразный. Как видно из кривых тока фигур  $c$  и  $d$ , увеличением числа анодов выпрямителя достигается все большее сглаживание кривой на стороне постоянного тока.

В радиотехнике имеют, как известно, широкое распространение катодные лампы, где в вакуумном сосуде на пути тока между анодом и катодом помещается металлическая сетка. Изменяя потенциал этой сетки, можно влиять на электрическое поле в сосуде и тем самым изменять силу тока между анодом и катодом. Положительный заряд сетки притягивает электроны, излучаемые раскаленной нитью катода, а отрицательный оттал-

кивает электроны. При определенной величине отрицательного заряда сетки может быть достигнуто полное прекращение тока между анодом и катодом.

На рис. 2 слева показан характер изменения анодного тока от переменного потенциала сетки. При определенном значении отрицательного потенциала сетки возникает анодный ток, который увеличивается с ростом положительного потенциала сетки, уменьшается с падением этого потенциала и, наконец, прекращается, когда сетка получает такой же отрицательный потенциал, при котором прежде произошло возникновение т

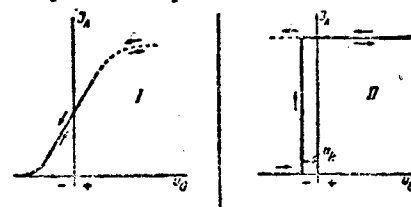


Рис. 3. Характеристика вакуумного и ртутного сосудов:  $I$  — вакуумный сосуд;  $II$  — ртутный сосуд

Зависимость анодного тока от потенциала сетки идет иная, если вместо пустотного сосуда взять сосуд, наполненный парами ртути. В этом случае, как видно из рис. 2 (справа), электроны, излучаемые от катода, ударяясь с большой скоростью в нейтральные атомы паров ртути, расщепляют их, образуя новые электроны, которые устремляются к аноду. Если при этом на сетке какой угодно отрицательный потенциал, то он в противоположность пустотным трубкам, не оказывает никакого влияния на прохождение анодного тока, как сетка притянет к себе свободные положительные ионы и поэтому не будет иметь влияния на работу ртутного выпрямителя. Анодный ток одинаковой величины будет при этом протекать до тех пор, пока будет существовать постоянная разность потенциалов между анодом и катодом. Если же каким-либо образом (например, выключением анодной цепи или снятием накала) ток между анодом и катодом прекращается, то возникновение тока может быть достигнуто лишь при определенном напряжении, характерном для данной кон-

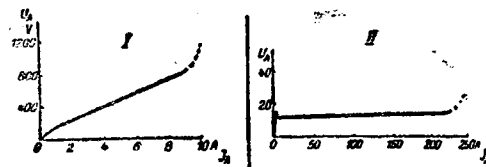


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики вакуумного и ртутного сосудов:  $I$  — вакуумный сосуд;  $II$  — ртутный сосуд

рукции сетки. Таким образом в сосуде с ртутными парами изменением потенциала сетки можно влиять лишь на момент возникновения анодного тока, но не на его величину и не на момент прекращения тока. Это видно из рис. 3, где изображены характеристики сосудов вакуумного и наполненного парами ртути, показывающие изменения анодного тока в зависимости от увеличения и уменьшения потенциала сетки.

<sup>1)</sup> Настоящий реферат составлен по следующим литературным источникам: Raschel und Rissmüller, „Elektrizitätswirtschaft“, 1932, № 21, стр. 462—474; Schenkel, Petersen, Löbl, Tröge и др., „ETZ“ 11, aug. 1932, H. 32, стр. 761—786; Kern, El. Bahng., Bd. 7, стр. 313; Partsch, „AEG-Mitteilungen“, 1932, № 11; Schweizerische Bauzeitung, 1932, Bd. 100, № 3, стр. 29—33; „AEG-Mitteilungen“ 1932, № 7, стр. 252.

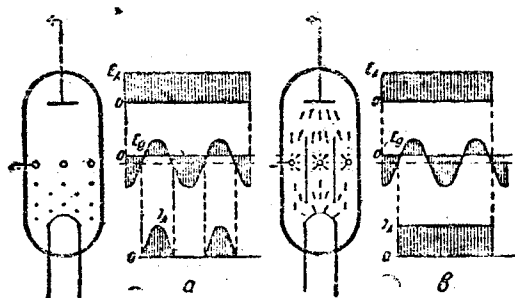


Рис. 2. Разрядные сосуды с сеткой. Влияние потенциала сетки на анодный ток:  $a$  — вакуумный сосуд;  $b$  — сосуд, наполненный парами ртути

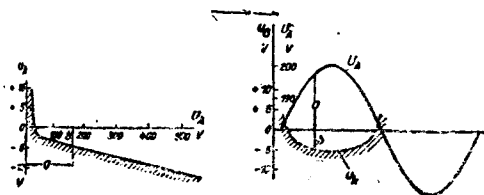


Рис. 5. Критическое напряжение сетки в ртутном сосуде

Несмотря на то, что управление сеткой в ртутных со-  
дах представляет более ограниченные возможности,  
и в вакуумных сосудах, ртутные выпрямители в тех-  
е сильных токов нашли применение ввиду малого  
внутреннего сопротивления сосуда, наполненного парами  
ти по сравнению с внутренним сопротивлением ва-  
куумного сосуда, что ясно видно по вольтамперным ха-  
рактеристикам обоих сосудов, данных на рис. 4. В ва-  
куумном сосуде при токе в 10 А имеем падение напря-  
жения между анодом и катодом 1200 В, при этом па-  
дение напряжения растет с увеличением тока, в то вре-  
мя как в таком же сосуде, наполненном парами  
ртути, имеем около 20 В падения напряжения, почти  
независимого от тока. Потери в вакуумном сосуде

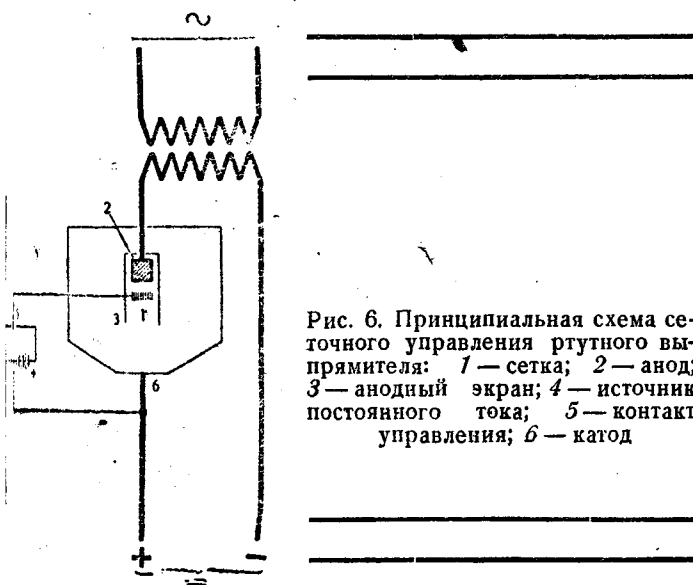


Рис. 6. Принципиальная схема сеточного управления ртутного выпрямителя: 1 — сетка; 2 — анод; 3 — анодный экран; 4 — источник постоянного тока; 5 — контакт управления; 6 — катод

1200 = 12000 W; в таком же сосуде с парами рту-  
ти всего  $10 \cdot 20 = 200$  W.

любое значение для работы ртутных выпрямителей  
является минимального потенциала сетки, при  
котором возникает анодный ток. Это так называемое  
критическое напряжение не является величиной постоян-  
ной, а зависит от напряжения анода. На левой части  
рис. 5 показаны значения критического напряжения  $U_k$   
при различных напряжениях анода  $U_a$ . Если напряже-  
ние сетки находится ниже заштрихованной на рисунке  
линии, анодный ток возникнуть не может. Заштрихован-

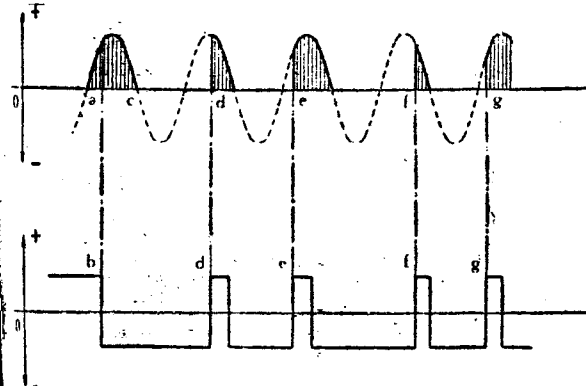
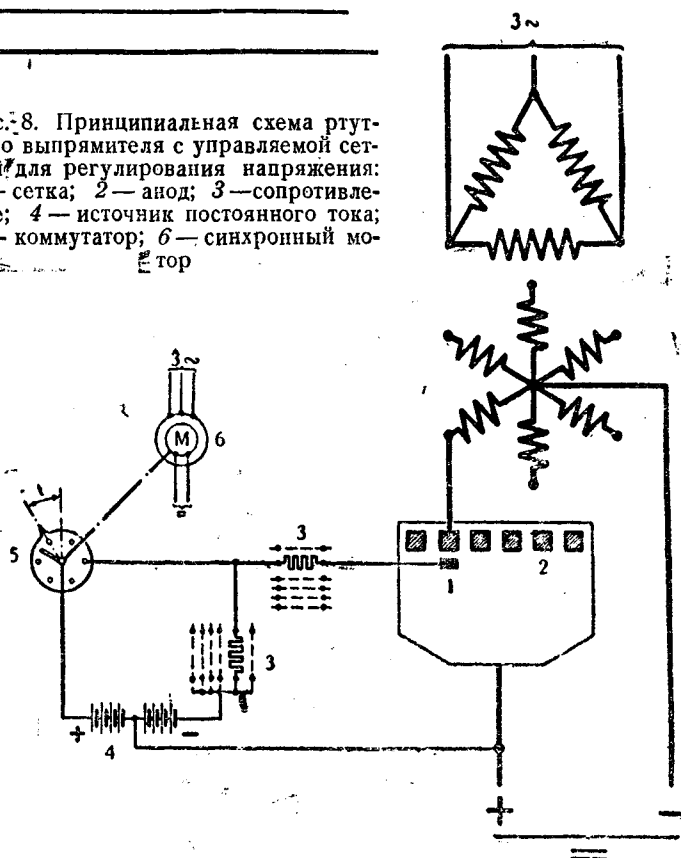


Рис. 7. Влияние потенциала сетки на анодный ток: верхняя диаграмма — анодный ток; нижняя — потенциал сетки.

Рис. 8. Принципиальная схема ртутного выпрямителя с управляемой сеткой для регулирования напряжения: 1 — сетка; 2 — анод; 3 — сопротивление; 4 — источник постоянного тока; 5 — коммутатор; 6 — синхронный мотор



ная линия  $U_k$  на рис. 5 справа дает величины критическо-  
го напряжения для случая, когда напряжение анода  
изменяется по синусоиде, как это и обычно имеет  
место в ртутных выпрямителях.

Выбор момента появления анодного тока  
путем изменения потенциала сетки, а так-  
же само прекращение этого тока при про-  
хождении синусоиды через нуль дают воз-  
можность использовать ртутные выпря-  
мители в различных областях техники  
сильных токов.

### 1. Регулировка напряжения на стороне постоянного тока

Такая регулировка в обычных ртутных выпрямителях  
может быть достигнута только изменением напряжения  
переменного тока путем установки трансформатора с  
регулировкой напряжения под нагрузкой. Это устрой-  
ство является дорогим и громоздким и, кроме того,  
позволяет осуществить регулировку лишь ступенями  
в сравнительно небольших пределах. Ртутными же вы-  
прямителями с сеткой можно осуществить совершенно  
плавную регулировку в любых пределах при неизмен-  
ной величине напряжения переменного тока. Принци-  
пиальная схема, уясняющая действие такого выпрями-

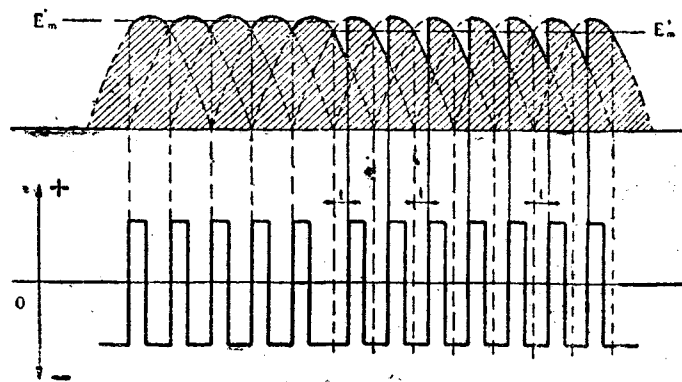


Рис. 9. Диаграмма регулирования напряжения шестифазного ртутного выпрямителя

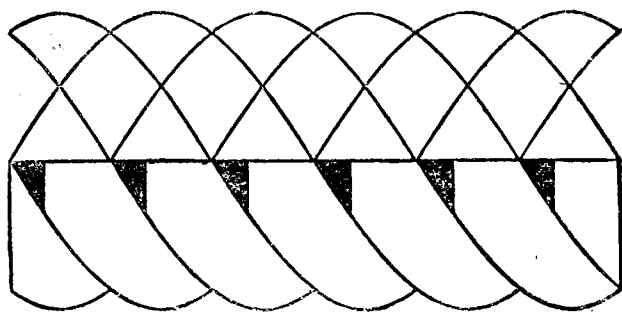


Рис. 10. Диаграмма напряжения шестифазного выпрямителя при значительном сдвиге потенциала сетки

теля, показана на рис. 6. Изменяя потенциал сетки переключателем 5, можно регулировать момент возникновения напряжения выпрямителя на стороне постоянного тока. На нижней части рис. 7 показана кривая потенциалов сетки при произвольной перестановке переключателя 5. Соответственно этой кривой изменяется та часть полупериода, в течение которой протекает анодный пульсирующий ток (верхняя часть рис. 7). Если перестановку переключателя 5 производит с частотой переменного тока, то части полупериода, в течение которого протекает анодный ток, будут одинаковы. При этом каждому сдвигу во времени между прохождением переменного тока через нуль и переключением сетки на потенциал выше критического будет соответствовать другое среднее значение напряжения и силы постоянного тока.

Схема такой установки для шестифазного выпрямителя показана на рис. 8. Здесь переключатель заменен коммутатором 5, который приводится во вращение синхронным мотором. Регулировка напряжения на стороне постоянного тока производится перемещением неподвижной шайбы коммутатора 5 относительно движущегося контакта, т. е. изменением угла  $t$ .

На диаграмме рис. 9 слева показано протекание постоянного тока при угле сдвига  $t=0$ . В этом случае диаграмма напряжения получается такой же, как в обычном выпрямителе. При сдвиге же шайбы на угол  $t$  диаграмма напряжения носит зубчатый вид, причем среднее значение этого напряжения  $E_m'$  естественно получается меньшим, чем среднее напряжение  $E_m$  в предыдущем случае. Зубчатый характер кривой напряжения может быть сглажен дроссельной катушкой.

На рис. 10 показана диаграмма напряжения на стороне постоянного тока шестифазного выпрямителя (зачерненная часть рисунка) при дальнейшем увеличении угла  $t$ . Среднее значение напряжения в этом случае еще меньше. Очевидно, что в этом случае работа выпрямителя возможна только при наличии сглаживающего дросселя, не допускающего погасания дуги в одном аноде до тех пор, пока не зажжется дуга следующего анода.

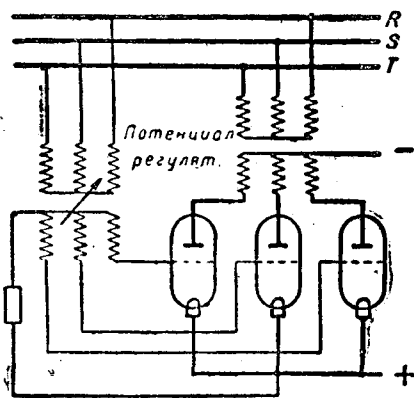


Рис. 11. Схема регулирования напряжения ртутного выпрямителя при питании сетки переменным током

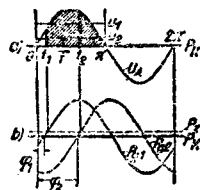


Рис. 12. Влияние сдвига фаз между напряжением сетки и анодным током

Описанный способ электрохимического регулирования выпрямителя синхронно движущимся коммутатором может быть заменен чисто электрическим способом, как это показано на рис. 11, где сетка питается переменным током той же частоты, что и ток в аноде. Изменяя фазорегулятором сдвиг фаз между напряжением сетки и напряжением анода можно добиться такого же плавного изменения напряжения постоянного тока выпрямителя, как и при электрохимическом способе. Это видно из диаграммы рис. 12, где критическое напряжение  $P_c$  положительно, как это имеет место для сетки данного ртутного выпрямителя. При сдвиге фаз  $\varphi_1$  зажигание анода происходит в точке  $t_1$ . При сдвиге же фаз  $\varphi_2$  зажигание анода происходит в  $t_2$ , и срезается большая часть синусоиды и, следовательно, уменьшается среднее значение напряжения постоянного тока выпрямителя. Мощность фазорегулятора получается незначительной ввиду малой величины тока, потребляемого сеткой.

Вышеуказанные способы регулирования напряжения на стороне постоянного тока сопряжены, однако, с некоторым недостатком, что при этом ухудшается  $\cos \varphi$  сети. Это ясно из рассмотрения рис. 13, где на фиг. а изображены кривые  $e_1$  и  $e_2$  напряжения постоянного тока 2-анодного выпрямителя. При отсутствии регулирования среднее напряжение равно  $E_{g0}$ . При сдвиге же напряжения

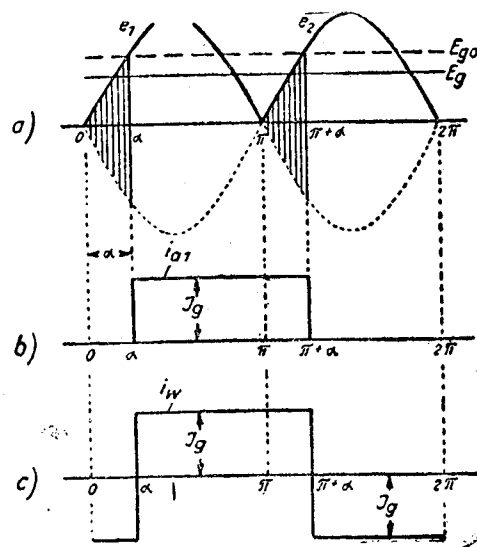
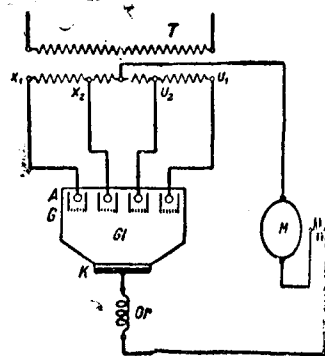


Рис. 13. Ток и напряжение ртутного выпрямителя при управлении сеткой

сетки таким образом, чтобы зажигание анода происходило с запаздыванием на  $\alpha$  электрических градусов, среднее напряжение окажется равным  $E_g$ . При этом сила постоянного тока, в предположении наличия бесконечно большого сглаживающего дросселя, изображена на фиг. b, а на стороне переменного тока — фиг. c. Из последней фигуры видно, что переменный ток запаздывает относительно своего напряжения на угол  $\varphi = \alpha$ , причем независимо от числа фаз трансформатора, питающего ртутный выпрямитель,  $\cos \varphi = \frac{E_g}{E_{g0}}$ . Из этого соотно-

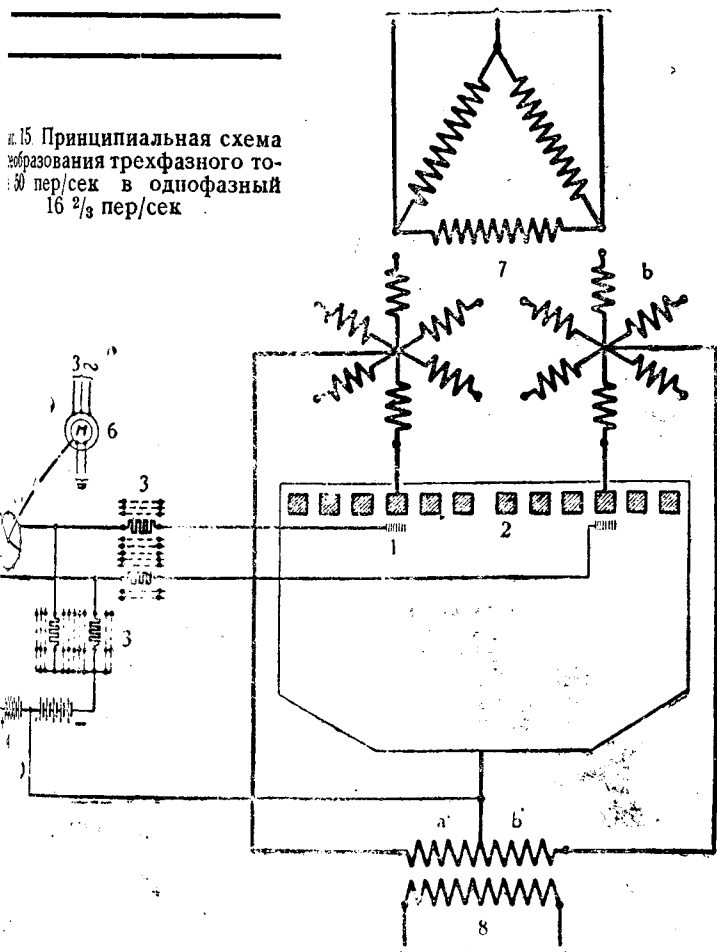
Рис. 14. Регулирование числа оборотов мотора помощью ртутного выпрямителя с несколькими анодными группами: А — анод;  $2r$  — дроссель;  $G$  — сетка;  $C$ ,  $I$  — выпрямитель;  $T$  — трансформатор;  $K$  — катод;  $M$  — мотор;  $x_1 - u_1 - x_2 - u_2$  — ответвления



и следует, что глубокая регулировка напряжения тем смещения потенциала сетки сопряжена с ухудшением  $\cos \phi$  сети.

Для избежания этого применяют ртутные выпрямители с добавочными электродами, приключенные к соответствующим ответвлениям трансформатора, как это показано на рис. 14, где ртутный выпрямитель служит для питания мотора постоянного тока с последовательным возбуждением и для регулирования его числа оборотов. Электроды  $x_1$  и  $u_1$  включаются при большом числе оборотов мотора. При этом электроды  $x_2$  и  $u_2$  блокируются напряжением сетки. При малом числе оборотов мотора работают электроды  $x_2$  и  $u_2$ , и блокируются электроды  $x_1$  и  $u_1$ . При таком устройстве расширяются пределы регулирования напряжения сетки, и вследствие этого улучшается  $\cos \phi$  сети.

Рис. 15. Принципиальная схема преобразования трехфазного тока 50 пер/сек в однофазный  $16\frac{2}{3}$  пер/сек



## 2. Преобразование частоты

Помощью ртутного выпрямителя с управляемой сеткой можно достигнуть преобразования тока одной частоты на ток любой другой частоты. На рис. 15 показана схема преобразователя переменного тока 50 пер/сек в переменный ток  $16\frac{2}{3}$  пер/сек, применяемого для питания однофазным током железнодорожной сети от трехфазной сети 50 периодов. В данном случае помещаются в одном сосуде 2 шестиэлектродных ртутных выпрямителя, управляемых сетками помощью коммутатора 5 таким образом, что в течение первого полуоборота коммутатора поочередно получают положительный потенциал все 6 сеток выпрямителя  $a$ , а в течение второго полуоборота — все сетки выпрямителя  $b$ . При этом через трансформатор 8 проходит однофазный ток, кривая которого показана на рис. 16 жирной линией. Основная гармоническая этой кривой имеет частоту  $16\frac{2}{3}$  пер/сек. Однако кривая содержит еще целый ряд высших гармонических, так как она сильно отличается от синусоиды. Расставив контакты ком-

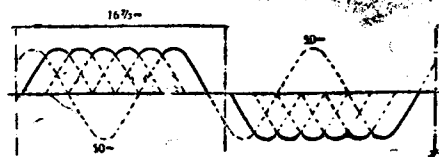


Рис. 16. Диаграмма преобразования трехфазного тока 50 пер/сек в однофазный  $16\frac{2}{3}$  пер/сек

татора таким образом, чтобы средние значения напряжения анода отдельных фаз следовали бы друг за другом по закону синуса, можно получить зубчатую кривую напряжения, среднее значение которой будет близко к синусоиде.

Для дальнейшего улучшения формы кривой и для того, чтобы сделать однофазный ток пригодным для практических целей, можно каждую обмотку шестифазного трансформатора выполнить с различными коэффициентами трансформации, как это показано на рис. 17. Перестроив управление сетками электродов таким образом, чтобы зажигание анодов происходило в следующей последовательности:  $1-2-3-4-5-6-1-1'-2'-3'-4'-5'-6'$  и  $1'$ , можно получить на стороне однофазного тока кривую, изображенную на рис. 18 жирной линией. Эта кривая, являющаяся огибающей кривых напряжений отдельных электродов обоих выпрямителей, близка к синусоиде и имеет частоту  $16\frac{2}{3}$  пер/сек.

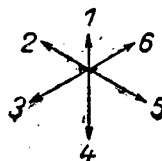


Рис. 17

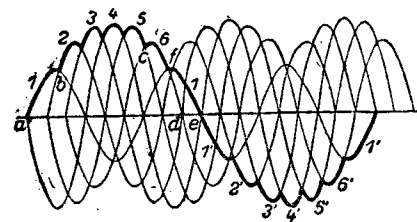


Рис. 18. Преобразование частоты методом огибающей кривой

Описанный метод преобразователя частоты возможен только при строгом соотношении частот по обе стороны преобразователя, т. е. этот метод может найти практическое применение только тогда, когда источник энергии находится лишь с одной стороны. В этом же случае, когда помощью такого преобразователя требуется связать 2 системы, имеющие каждая свой источник питания, нельзя рассчитывать на строгое соотношение частот. Поэтому в этом случае необходимо перейти на так называемое эластичное или асинхронное преобразование частоты. Принцип работы такого преобразователя будет изложен в дальнейшем после рассмотрения вопроса о преобразовании постоянного тока в переменный.

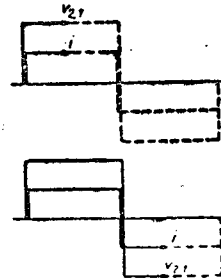
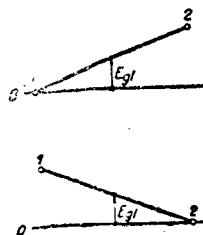
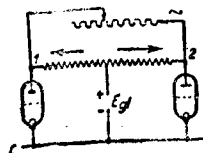


Рис. 19. Диаграмма тока и напряжения ртутного преобразователя постоянного тока в переменный

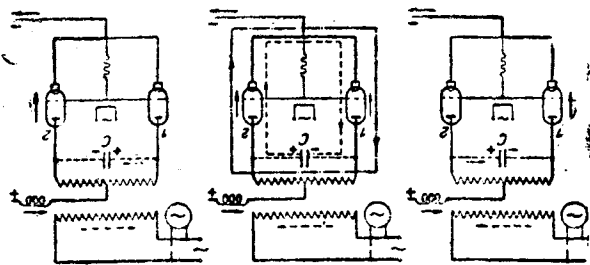


Рис. 20. Принцип действия однофазного преобразователя постоянного тока в переменный. Обыкновенный пунктир — питание с двух сторон; пунктир с точкой — питание с одной стороны

### 3. Универсальный преобразователь

На рис. 19 показана схема, поясняющая принцип преобразования постоянного тока в переменный. Допустим что в данный момент сетка одноанодного преобразователя 1 находится под положительным потенциалом (выше критического напряжения), а сетка преобразователя 2 под отрицательным потенциалом (ниже критического напряжения). При включении постоянного тока анодный ток проходит через сосуд 1 и левую половину обмотки трансформатора. Вследствие электромагнитного действия напряжение передается на правую половину трансформатора таким образом, что между точками 1 и 2 возникает напряжение  $2E_{gl}$ . Если в этот момент выключить ток в сосуде 1 и поменять полярность сеток обоих сосудов, то вступит в работу сосуд 2, и между точками 1 и 2 возникает опять двойное напряжение, но направленное в обратную сторону. Если к точкам 1 и 2 присоединить омическое сопротивление

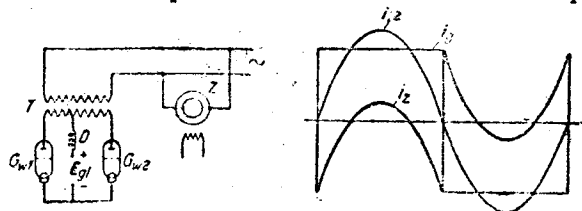


Рис. 21. Преобразователь постоянного тока в переменный, работающий на сеть, имеющую свой генератор. Диаграмма токов и напряжений

ние, то при периодическом протекании такого процесса через сопротивление будет проходить ток меняющегося направления и имеющий прямоугольную форму, как это показано справа на рис. 19. Очевидно, что периодичность этого тока может быть любая, в зависимости от устройства управления преобразователем.

При этом возникают следующие вопросы:

- 1) каким образом прекращается анодный ток соответствующего сосуда в требуемый момент?
- 2) как изменить прямоугольную форму кривой тока, делав ее близкой к синусоиде?

Разрешение первого вопроса может быть достигнуто присоединением конденсатора к зажимам трансформатора, как это изображено на рис. 20. На левой стороне этого рисунка жирной линией и сплошной стрелкой черчено прохождение постоянного тока в момент, когда анодный ток проходит через сосуд 1, а сосуд 2 заблокирован

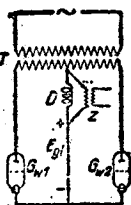


Рис. 22. Преобразователь постоянного тока в переменный с добавочной э. д. с. двойной частоты

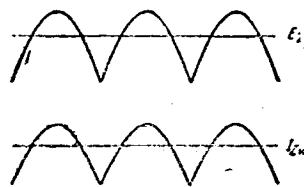


Рис. 23. Диаграмма тока и напряжения добавочного трансформатора

кирован отрицательным потенциалом сетки. Конденсатор при этом заряжается напряжением  $2E_{gl}$  в направлении, показанном пунктирной стрелкой. Положение соответствующее следующему моменту, когда потенциалы сеток сосудов 1 и 2 меняются, показано в средней части рисунка. Конденсатор в этот момент разряжается, посылает через сосуд 1 ток обратного направления, перезаряжая анод, так как потенциал конденсатора, имеющий обратный знак, выше потенциала анода. Благодаря этому ток в сосуде 1 прекращается до тех пор, пока сетка этого сосуда вновь не получит положительного потенциала. На правой стороне рисунка показано прохождение тока через сосуд 2. Очевидно, что описанный процесс будет происходить беспрерывно с периодичностью, соответствующей частоте изменения потенциала сетки. При этом во вторичной обмотке трансформатора и, следовательно, в внешней сети получится ток той же периодичности.

Конденсатор не нужен в том случае, когда сеть переменного тока имеет свой генерирующий источник, так как в этом случае роль конденсатора принимает на себя источник энергии сети переменного тока. Это

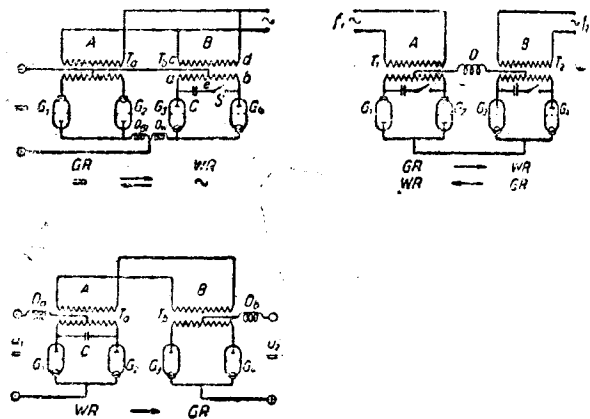


Рис. 24. Универсальный преобразователь: а — параллельное соединение сетей постоянного и переменного токов; б — параллельное соединение сетей переменного тока разных частот; в — трансформация постоянного тока; Г R — выпрямитель; W R — преобразователь постоянного тока в переменный.

видно из средней части рис. 20, где показано, что в момент, когда требуется гашение сосуда 1, напряжение, перезаряжающее анод, доставляется из сети переменного тока через трансформатор, так как амплитуда этого потенциала равно, как и в конденсаторе,  $2E_{gl}$  и имеет направление, обратное направлению тока в аноде.

При наличии генерирующего источника на стороне переменного тока превращение прямоугольной формы кривой тока в синусоидальную производится само собой. Благодаря разности кривых напряжений анодного тока и генератора, возникает добавочный ток  $i_2$ , показанный на рис. 21, б, который будет сглажен дросселем D (рис. 21, а), проходит через источник постоянного тока. Эффективное значение добавочного тока  $i_2$  составляет 48,3% от эффективного значения полезного тока  $i_1$ ; следовательно, мощность машины, работающей на стороне переменного тока, должна быть при  $\cos \varphi = 1$  равна почти половине мощности, передаваемой через преобразователь. При меньшем же  $\cos \varphi$  сети эта мощность машины должна соответственно возрасти, так как эта же машина должна генерировать всю необходимую безвзвешенную мощность.

На рис. 22 показан другой способ превращения прямоугольной кривой анодного тока в синусоидальную. Параллельно дроссельной катушке D подается через трансформатор добавочный ток с двойным числом периодов. Этот ток, будучи сложен с постоянным током, как это показано на рис. 23, дает пульсирующий ток, который выпрямителем преобразовывается в чисто



социальный ток. Эффективное значение тока и напряжения, доставляемого генератором двойной частоты, составляет 43,5%. Поэтому мощность добавочной машины при  $\cos\varphi = 1$  равна всего лишь 19% мощности, передаваемой через преобразователь из сети постоянного тока.

Различными соединениями выпрямителей с преобразователями постоянного тока в переменный могут быть решены и другие вопросы, имеющие исключительное значение для техники сильных токов.

При параллельном соединении выпрямителя с преобразователем, как это показано на рис. 24, а, достигается связь между системами постоянного и переменного токов, при которой возможно направление энергии в любую сторону. Когда эта энергия направлена от сети постоянного тока в сеть переменного тока, работают соды  $G_3$  и  $G_4$ , а при направлении энергии в обратную сторону — соды  $G_1$  и  $G_2$ .

При последовательном соединении двух преобразователей достигается эластичное или асинхронное соединение двух сетей переменного тока различной периодичности. Преобразователь частоты здесь производится в таком порядке, что переменный ток одной частоты выпрямляется в постоянный ток, а последний в переменный ток другой частоты (рис. 24, б).

При последовательном соединении двух преобразователей достигается также трансформация постоянного

тока. Постоянный ток одного напряжения преобразовывается в переменный ток. Последний трансформируется на другое напряжение и выпрямляется в постоянный ток.

Возможность осуществления помощью ртутных выпрямителей с сетчатым управлением перечисленных выше задач ставит на очередь вопрос о практическом применении их для передачи постоянным током больших мощностей на далекие расстояния и для связи крупных систем с разным числом периодов и разных родов тока.

В настоящей статье не исчерпаны все возможные области применения ртутных выпрямителей с сетчатым управлением, так как это вышло бы за рамки журнальной статьи. Кроме того, многие из этих областей еще недостаточно изучены и находятся пока в стадии теоретических и лабораторных изысканий. К настоящему времени, помимо перечисленных в настоящей статье, можно считать в достаточной степени разрешенными также следующие области применения ртутных выпрямителей с сетчатым управлением: пуск и регулировка числа оборотов моторов постоянного тока (замена схемы Леонарда), получение низкой частоты для электротечей, автоматическое отключение при коротком замыкании в сети постоянного тока и при обратном зажигании выпрямителя и регулируемый бесколлекторный мотор постоянного и однофазного токов.

## ХРОНИКА

### Ленинградский электромеханический институт

#### Исследование магнитной вязкости

В лаборатории кафедры физических основ электротехники закончена в первой стадии работа инж. А. В. Миткевича по изучению магнитной вязкости. Для отожженного железа установлено наличие магнитной вязкости в полях до 100 эрстедов, причем промежуточные явления, явно влияющие на протекание этого явления, достигали десятков секунд. Кроме того, найдено, что степень равномерности намагничивания весьма сильно влияет на количественные проявления магнитной вязкости. Далее обнаружено, что в некоторых точках переизменного цикла проявления магнитной вязкости могут быть

обратны по направлению тем изменениям магнитной индукции, которые должны были бы иметь место как результат задерживающего влияния токов Фуко. Наконец, установлено, что интенсивность эффекта магнитной вязкости достигает максимального значения в полях, которым соответствует максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости. Это позволило на основании работ Безорса заключить, что эффект Баркхаузена может быть рассматриваем как элементарный эффект магнитной вязкости. Исследование производилось в условиях практически полного освобождения от влияния токов Фуко.

Проф. М. А. Шателен

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Инж. <b>Б. Л. Розинг</b> , Новое о механизме света и фотоэлектричества . . . . .	5
Инж. <b>Л. П. Лигонский</b> , Передача электрической энергии по железным тросам . . . . .	10
Инж. <b>Г. Т. Виноградов</b> , Схлестывание проводов . . . . .	17
Инж. <b>В. И. Шкамерада</b> , Электрооборудование нефте-и бензиноналивных судов . . . . .	21
Инж. <b>Н. М. Ковалев</b> , Электрическое оборудование на торговых судах . . . . .	23
Инж. <b>А. И. Москвитин</b> , Скорость распространения кругового огня по коллектору . . . . .	27

	Стр.
Инж. <b>А. В. Цанов</b> и инж. <b>П. В. Борисоглебский</b> , К вопросу об изоляции трансформаторным маслом при высоких напряжениях . . . . .	28
Инж. <b>Б. М. Тареев</b> , Меднозакисные выпрямители . . . . .	34
Инж. <b>Л. В. Гейлер</b> , 110 или 220 вольт в распределительных сетях населенных мест . . . . .	39
Инж. <b>В. Л. Иносов</b> , Еще по вопросу о механическом расчете шин . . . . .	47
Инж. <b>А. Зингерман</b> , По поводу возражений инж. Иносова	48
Инж. <b>А. З. Бейлин</b> и инж. <b>И. М. Иофьев</b> , Ртутные выпрямители сеточным управл. . . . .	50
<b>ХРОНИКА</b> , Ленинградский Электро-механич. институт. ЛЭМИ . . . . .	55

ОНТИ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор **Г. Г. Андреев**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** инж. **Е. С. Аватков**, проф. **В. И. Вейд**, инж. **В. Н. Глазнов**, инж. **М. Н. Грановская**, инж. **Я. А. Климовичский**, акад. **Г. М. Кржижановский**, инж. **И. С. Палицын**, **М. И. Рубинштейн**, инж. **Н. А. Сазонов**, проф. **М. А. Шателен**, проф. **Я. И. Шпильрейн**  
**ОТВ. РЕДАКТОР** инж. **Н. А. Сазонов**

В набор 19/IV. Подписано к печати 26/IV — 33 г. Бумага 62X94. Печатных листов 7. Печатных знаков в листе 78 900

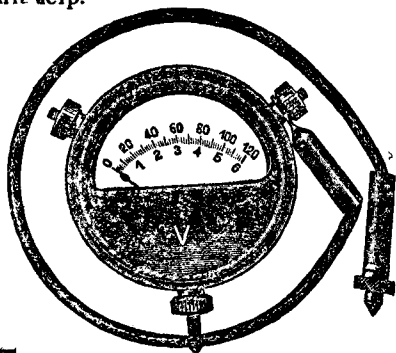
Гл. Глав. В-57526 1-я журнальная тип. ОНТИ Наркомтяжпрома, Москва, Денисовский пер., д. 30 Заказ 687 Тираж 12 000



# Н О В О С Т И !

Мы выпустили на рынок большое количество всевозможных новинок: Лабораторные измерительные приборы в изолированных коробках высокого качества, небольшие дешевые инструменты с вращающимся сердечником или вращающейся катушкой, прибор для проверки радио-ламп, дешевый прибор для радио-измерений, панти метр.

Требуйте от нас бесплатной присылки новейших проспектов!



**GOSSEN**  
ERLANGEN / BAY.

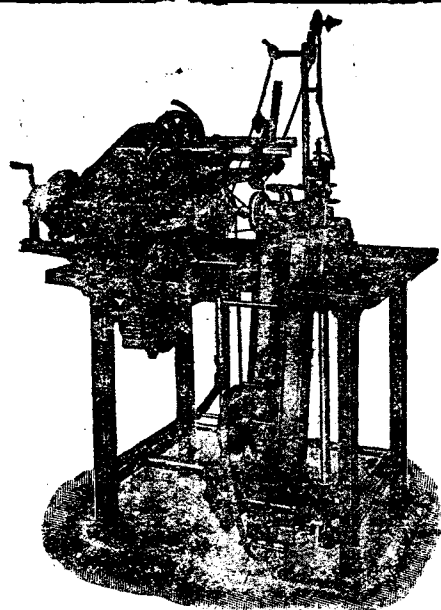
(Германия)



**Fr. Ghisleni & Cie. A.-G.**  
Solothurn (Швейцария)

Периодические и стопорные выключатели, выключатели с часовым механизмом, автоматическ. выключатели для уличных фонарей

6672



**Автоматические  
обмоточные станки**

для намотки катушек для аппаратов, измерительных трансформаторов и пр.

**MICAFIL A.-G.**  
ZURICH - ALTSTETTEN (Швейцария)

6676

# К Л Е Р И Ч И

**ТРЕХФАЗНЫЕ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ  
САМОУРАВНИВАЮЩИЕСЯ  
ДВИГАТЕЛИ  
ТРАНСФОРМАТОРЫ**

★

Требуйте рисунки и проспекты изделий, обычно поставяемые для С.С.С.Р. Вы получите этот материал бесплатно

★

Фабрика инж.  
**Джампиеро Клеричи и Ко.**  
в Милане (Италия)

Office Ing.  
**Giampiero Clerici & Co.**  
MILANO — VIA BERGOLESE NR. 11

6695

Выписка заграничных товаров может последовать на основании действующих в СССР правил о посылках, внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталога образцов и проспектов просим ссылаться на № нашего журнала.

**Fabrik elektrischer Apparate Fr. SAUTER, A.-G., BASEL**

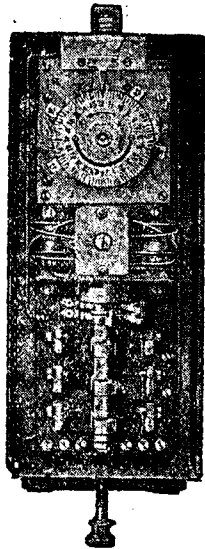
## Мы строим:

- 1. Астрономические** электрические часовые выключатели для автоматического зажигания и тушения уличного освещения, для силы тока от 2 до 600 А и для напряжения от 100 до 8000 V.
- 2. Автоматические** выключатели, действующие на расстоянии (релэ: ртутные, магнитные и моторные).
- 3. Электрические** автоматы для счетчиков 2 и 3-го тарифа, холодильных машин, насосных установок, фабричной сигнализации, регулирования уличного освещения, зарядки аккумуляторов и т. п.

**Наши изделия выставлены на постоянной выставке „Техно-  
проимпорта“.**

### Поставщики Электроимпорта.

Запросы могут быть составлены и на русском языке.

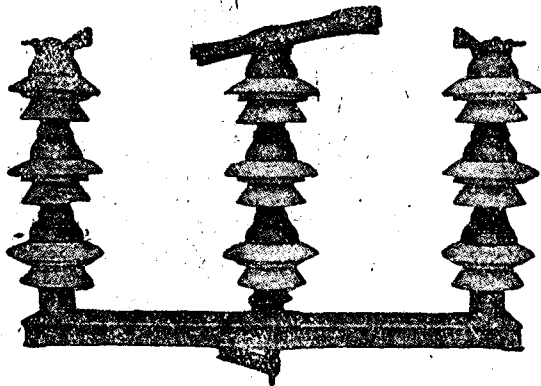


**Автоматический часовой выключатель с электрическим заводом.**

6678



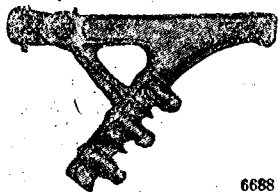
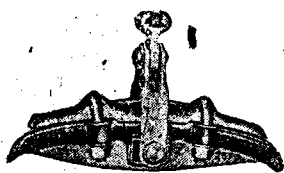
**МИЛАН** Муссолини №5 **ИТАЛИЯ**



## Трехполюсные измерительные выключатели до 230 квв.

Более 2000 наборов на заводе

## Арматуры высокого напряжения



6688

## Электро - аппаратура

### Аппаратура.

**Трехполюсные масляные выключатели** разной мощности для напряжений до 150.000 вольт с управлением от руки и электрическое на расстоянии.

Треншальтеры до 3000 ампер и рабочего напряжения, до 150.000 вольт, управление от руки или непосредственное.

Одно и трехполюсные металлические сопротивления в масле для разрядников до 60 000 вольт рабочего напряжения.

### Измерительные приборы.

С подвижной катушкой для постоянного тока к распределительным доскам. С подвижной катушкой для постоянн. тока — переносного типа: для контроля и весьма точные для лабораторий.

Электромагнитические аperiodические для переменного тока — переносные а также для распределительных досок.)

Электродинамические для постоянного и переменного тока — переносные и для распределительных досок, большой точности.

# ЗАВОДЫ ГАЛИЛЕО ФЛОРЕНЦИЯ (Италия)

66.89

Выписка заграничных товаров может последовать на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли. При всех запросах к иностранным фирмам о присылке каталогов образцов и проспектов просим ссылаться на № 12 этого журнала.

# ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. НА ЖУРНАЛ „ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“

**Год издания 54-й**

Орган союзных электро-  
энергетических учрежде-  
ний и организаций (ВЭО,  
Главэнерго НКТП СССР,  
Энергетического инсти-  
тута, Академии наук  
СССР

20 номеров в год

**Подписная цена:**

на 12 мес. . . . . 24 р.

на 6 мес. . . . . 12 р.

отдельный номер 1 р. 20 к.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

**Программа журнала.** Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и в частности вопросы электромашино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических научно-исследовательских институтов и крупнейших лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭНИТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

**Подписка принимается** во всех магазинах и отделениях Книгоцентра, у писмоносцев и на ПОЧТЕ. Розничная продажа производится во всех киосках Союзпечати

**ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 год  
на научно-технический журнал**

# „ТЕПЛО и СИЛА“

орган Главэнерго

**9-й ГОД ИЗДАНИЯ**

**ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:**

**10 номеров в год**

Вопросы проектирования станций высокого давления и теплоэлектроцентралей. Тепловые схемы станций. Советские конструкции турбин высокого давления, высоких температур и большой мощности. Теплофикационные турбины. Стандартизация схем турбинных установок. Советские котлы высокого давления и большой паропроизводительности. Вопросы экранирования. Стандарты котлов и разработка типовых котельных агрегатов. Котлы с естественной и принудительной циркуляцией. Сжигание низкосортных местных топлив. Топливоподача. Топливоприготовление. Золо- и шлакоудаление. Золо- и сероудаление. Стандартизация топочного оборудования. Водно-воздухоподогреватели. Аккумуляторы. Советские конструкции и стандартизация водоочистителей, деаэраторов, фильтров, испарителей, уформеров и насосов. Типовые схемы теплового контроля. Измерительные приборы. Вопросы теплофикации промышленности. Схемы тепловых сетей. Типовые расчеты сетей. Теплопроводы. Изоляция. Монтаж турбинного и котельного оборудования. Наладка и пуск оборудования. Обмен эксплуатационным опытом. Вопросы подготовки кадров. Аварии теплосилового оборудования и методы их предупреждения и ликвидации. Хроника. Библиография.

**ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:**

на инженеров, техников, учащихся втузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

**ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:**

на год (10 номеров)—18 руб., на 6 мес. (5 номеров)—9 руб. Цена отдельного номера—1 р. 30 к.

**Подписка принимается** во всех почтовых отделениях, у писмоносцев, во всех отделениях и магазинах КНИГОЦЕНТРА  
**РОЗНИЧНАЯ ПРОДАЖА ВО ВСЕХ КИОСКАХ СОЮЗПЕЧАТИ**